ISSN 2519-402X

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 2 (246) 2021 год

Рубрики номера:

Управление лесами, лесоустройство и информационные системы в лесном хозяйстве

Лесная экология и лесоводство

Лесовосстановление и лесоразведение

Лесозащита и садово-парковое строительство

Туризм и лесоохотничье хозяйство

Лесопромышленный комплекс. Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность

Общеинженерные вопросы лесопромышленного комплекса

Минск 2021

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Издается с июля 1993 года

Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 2 (246) 2021 год

Выходит два раза в год

Минск 2021

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Главный редактор журнала – Войтов Игорь Витальевич, доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь

Редакционная коллегия журнала:
Шетько С. В., кандидат технических наук, доцент (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Жарский И. М., кандидат химических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Черная Н. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Прокопчук Н. Р., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Водопьянов П. А., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор философских наук, профессор, Республика Беларусь;
Новикова И. В., доктор экономических наук, профессор, Республика Беларусь;
Наркевич И. И., доктор физико-математических наук, профессор, Республика Беларусь;
Куликович В. И., кандидат филологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;
Жантасов К. Т., доктор технических наук, профессор, Республика Казахстан;
Харша Ратнавира, доктор наук, профессор, Королевство Норвегия;
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;
Шкляр Б. Ш., профессор, Государство Израиль;
Кох Барбара, доктор наук, профессор, Федеративная Республика Германия;
Лакида П. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Украина;
Головко М. Ф., член-корреспондент НАН Украины, доктор физико-математических наук, профессор, Украина;
Бир Петр, доктор технических наук, профессор, Республика Польша;
Савельев А. Г., кандидат технических наук, профессор, Латвийская Республика;
Агриракис Панос, доктор наук, Греческая Республика;
Горинштейн Ш., доктор наук, профессор, Государство Израиль;
Эркаев А. У., доктор технических наук, профессор, Республика Узбекистан;
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Каклаускас А., доктор экономических наук, профессор, Литовская Республика;
Каухова И. Е., доктор фармацевтических наук, профессор, Российская Федерация;
Хассель Л. Г., доктор наук, профессор, Королевство Швеция;
Флюрик Е. А., кандидат биологических наук, доцент (секретарь), Республика Беларусь.

Редакционная коллегия серии:
Черная Н. В., доктор технических наук, профессор (главный редактор серии), Республика Беларусь;
Козлов Н. Г., доктор химических наук, профессор (заместитель главного редактора серии), Республика Беларусь;
Звягинцев В. Б., кандидат биологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Каплич В. М., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Крук Н. К., кандидат биологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Носников В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Республика Беларусь;
Шетько С. В., кандидат технических наук, доцент, Республика Беларусь;
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Парфенов В. И., академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Булавик И. М., доктор сельскохозяйственных наук, Республика Беларусь;
Кох Барбара, доктор наук, профессор, Федеративная Республика Германия;
Лакида П. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Украина;
Бабай Б. Я., кандидат технических наук, доцент, Украина;
Герц Э. Ф., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;
Саевич К. Ф., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Сарнацкий В. В., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Валентиниане Инга, кандидат технических наук, доцент, Литовская Республика;
Усеня В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;
Коробко Е. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Вавилов А. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Бир Петр, доктор технических наук, профессор, Республика Польша;
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;
Савельев А. Г., кандидат технических наук, профессор, Латвийская Республика;
Балтрушайтис Антанас, кандидат технических наук, Литовская Республика;
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Богданович Н. И., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Игнатович Л. В., кандидат технических наук, доцент (ответственный секретарь), Республика Беларусь;
Гордей Д. В., кандидат биологических наук (секретарь), Республика Беларусь.

Адрес редакции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.
Телефоны: главного редактора журнала – (+375 17) 343-94-32;
главного редактора серии – (+375 17) 374-80-46.
E-mail: root@belstu.by, http://www.belstu.by

Свидетельство о государственной регистрации средств массовой информации
№ 1329 от 23.04.2010, выданное Министерством информации Республики Беларусь.
Журнал включен в «Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований»

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2021

Educational institution
“Belarusian State Technological University”

PROCEEDINGS OF BSTU

Scientific Journal

Published monthly since July 1993

Issue 1

FORESTRY. NATURE MANAGEMENT. PROCESSING OF RENEWABLE RESOURCES

No. 2 (246) 2021

Published biannually

Minsk 2021

Publisher – educational institution "Belarusian State Technological University"

Editor-in-chief – Voitau Ihar Vital'evich, DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus

Editorial (Journal):
Shet'ko S. V., PhD (Engineering), Associate Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;
Zharskiy I. M., PhD (Chemistry), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;
Chernaya N. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Prokopchuk N. R., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Republic of Belarus;
Vodop'yanov P. A., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Philosophy), Professor, Republic of Belarus;
Novikova I. V., DSc (Economics), Professor, Republic of Belarus;
Narkevich I. I., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Republic of Belarus;
Kulikovich V. I., PhD (Philology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Barcík Štefan, DSc, Professor, Slovak Republic;
Zhantasov K. T., DSc (Engineering), Professor, Republic of Kazakhstan;
Harsha Ratnaweera, DSc, Professor, Kingdom of Norway;
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;
Shklyar B. Sh., Professor, State of Israel;
Koch Barbara, DSc, Professor, Federal Republic of Germany;
Lakida P. I., DSc (Agriculture), Professor, Ukraine;
Golovko M. F., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Ukraine;
Beer Piotr, DSc (Engineering), Professor, Republic of Poland;
Savel'yev A. G., PhD (Engineering), Professor, Republic of Latvia;
Agryrakis Panos, DSc, Republic of Greece;
Gorinshteyn Sh., DSc, Professor, State of Israel;
Erkayev A. U., DSc (Engineering), Professor, Republic of Uzbekistan;
Bashkirov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Kaklauskas A., DSc (Economics), Professor, Republic of Lithuania;
Kaukhova I. E., DSc (Pharmaceutics), Professor, Russian Federation;
Hassel L. G., DSc, Professor, Kingdom of Sweden;
Flyurik E. A., PhD (Biology), Associate Professor (secretary), Republic of Belarus.

Editorial (Issue):
Chernaya N. V., DSc (Engineering), Professor (managing editor), Republic of Belarus;
Kozlov N. G., DSc (Chemistry), Professor (sub-editor), Republic of Belarus;
Zvyagintsev V. B., PhD (Biology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Kaplich V. M., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Kruk N. K., PhD (Biology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Nosnikov V. V., PhD (Agriculture), Associate Professor, Republic of Belarus;
Shet'ko S. V., PhD (Engineering), Associate Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Parfenov V. I., Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Bulavik I. M., DSc (Agriculture), Republic of Belarus;
Koch Barbara, DSc, Professor, Federal Republic of Germany;
Lakida P. I., DSc (Agriculture), Professor, Ukraine;
Babay B. Ya., PhD (Engineering), Associate Professor, Ukraine;
Gerts E. F., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;
Saevich K. F., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Sarnatskiy V. V., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Valentiniane Inga, PhD (Agriculture), Associate Professor, Republic of Lithuania;
Usenya V. V., DSc (Agriculture), Professor, Republic of Belarus;
Korobko E. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Vavilov A. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Beer Piotr, DSc (Engineering), Professor, Republic of Poland;
Barcík Štefan, DSc, Professor, Slovak Republic;
Savel'yev A. G., PhD (Engineering), Professor, Republic of Latvia;
Baltrushaitis Antanas, PhD (Engineering), Republic of Lithuania;
Bashkirov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Bogdanovich N. I., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Ignatovich L. V., PhD (Engineering), Associate Professor (executive editor), Republic of Belarus;
Gordey D. V., PhD (Biology) (secretary), Republic of Belarus.

Contact: 13a, Sverdlova str., 220006, Minsk.
Telephones: editor-in-chief (+375 17) 343-94-32;
managing editor (+375 17) 374-80-46.
E-mail: root@belstu.by, http://www.belstu.by

© Educational institution "Belarusian State Technological University", 2021

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY

УДК 630*242

В. В. Коцан, О. А. Севко, Т. Л. Яронская
Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ РУБОК ПРОРЕЖИВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЧИСТЫХ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Влияние показателей пространственной структуры на прирост древостоя ярко выражено в период проведения рубки прореживания. С целью изучения данного явления в ельнике кисличном в возрасте 42 лет, в котором ранее была проведена рубка прореживания, была заложена пробная площадь. На основании цифровой модели пробной площади определены средние таксационные и пространственные показатели деревьев, у 21 дерева на основании стратифицированной выборки взяты керны и определен среднепериодический радиальный прирост за 10 лет.

Зависимость между диаметром ствола и средним расстоянием до деревьев-конкурентов показывает увеличение размаха вариации диаметра ствола с увеличением среднего расстояния до деревьев-конкурентов. Определено пограничное значение расстояния в 1,8 м, после которого размах вариации увеличивается в 2 раза. Анализ среднего расстояния до конкурентов от их количества выявил, что увеличение среднего расстояния между конкурентами до 1,5 м ведет к увеличению их количества, дальнейшее увеличение этого показателя данного эффекта не имеет.

Исследование дифференциации стволов по диаметру показывает, что деревья с минимальными диаметрами имеют в окружении доминирующие деревья, деревья с диаметром, близким к среднему, находятся в окружении схожих деревьев, а крупные деревья соседствуют с деревьями различного диаметра.

Анализ динамики радиального прироста подтверждает наличие влияния рубки прореживания на его прирост. После проведения рубки радиальный прирост, снижающийся до этого, остановился на одном уровне на 3 года и в дальнейшем начал увеличиваться.

Ключевые слова: конкуренция, рубка прореживания, пространственная структура, радиальный прирост, керн.

Для цитирования: Коцан В. В., Севко О. А., Яронская Т. Л. Влияние рубок прореживания на формирование чистых еловых древостоев // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 5–11.

V. V. Kotsan, O. A. Sevko, T. L. Yaronskaya
Belarusian State Technological University

INFLUENCE OF THINNING CUTTINGS ON THE FORMATION OF CLEAN SPRUCE STANDS

The influence of the spatial structure indicators on the growth of the stand is pronounced during the thinning felling period. In order to study this phenomenon in the sorrel spruce forest at the age of 42 years, in which the thinning felling was carried out earlier, a test plot was laid. Based on the digital model of the trial plot, the average taxation and spatial indicators of trees were determined, cores were taken from 21 trees on the basis of a stratified sample and the average periodic radial growth over 10 years was determined.

The relationship between the trunk diameter and the average distance to competitors 'trees shows an increase in the range of variation in the trunk diameter with an increase in the average distance to competitors' trees. The boundary value of the distance of 1.8 meters was determined, after which the range of variation doubles. An analysis of the average distance to competitors from their number re-

vealed that an increase in the average distance between competitors to 1.5 meters leads to an increase in their number, a further increase in this indicator does not have this effect.

The study of trunk diameter differentiation shows that trees with minimal diameters are surrounded by dominant trees, trees with a diameter close to the average are surrounded by similar trees, and large trees are adjacent to trees of different diameters. Analysis of the dynamics of radial growth confirms the influence of thinning felling on its growth. After the felling, the previously decreasing radial increment stopped at the same level for 3 years and then began to increase.

Key words: competition, thinning, spatial structure, radial growth, core.

For citation: Kotsan V. V., Sevko O. A., Yaronskaya T. L. Influence of thinning cuttings on the formation of clean spruce stands. *Proceeding of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resourses*, 2021, no. 2 (246), pp. 5–11 (In Russian).

Введение. Рубки ухода за лесом – это одно из самых важных лесохозяйственных мероприятий, основной целью которого является формирование хозяйственно ценных, высокопродуктивных и устойчивых насаждений. Периодическая вырубка нежелательных деревьев создает благоприятные условия роста лучшим деревьям [1]. Цели проведения рубок ухода – более эффективное использование солнечной энергии за счет планового формирования крон деревьев и сомкнутости полога, что обеспечивает рост массы хвои и увеличение площади углеродного и минерального питания оставшихся после рубки деревьев и способствует сохранению деревьев с лучшими селекционными категориями и формами [2, 3].

В настоящее время актуальным вопросом является классификация деревьев на основании пространственной структуры древостоя при назначении деревьев в рубку ухода. Он напрямую связан с влиянием пространственного размещения деревьев на производительность насаждения [4, 5, 6]. Учет размещения деревьев позволяет выделить те из них, которые активно увеличивают жизненное пространство и имеют текущий прирост выше среднего для данного насаждения.

Пространственно-конкурентные показатели используются для классификации деревьев в древостое в зависимости от различных критериев. Одним из наиболее известных примеров является классификация Крафта, которая описывает социальное положение деревьев по соотношению высот соседних деревьев, а также размера и качества кроны. Принадлежность к определенному классу отражает положение дерева в насаждении, а значит, и его потенциал роста [7, 8].

В практике лесного хозяйства Республики Беларусь широкое применение получила хозяйственная классификация согласно «Правилам рубок леса в Республике Беларусь»: лучшие, вспомогательные (полезные) и нежелательные. Для выращивания оставляют лучшие и вспомогательные деревья, а нежелательные удаляют [1]. В предыдущих исследованиях мы предлагали собственную классификацию деревьев в зависимости от соотношения высоты центрального дерева к средней высоте деревьев-конкурентов. Классы получили следующие названия: доминирующие, средние и угнетенные деревья [9]. При проведении селекционного отбора деревьев в рубку учитывается горизонтальная структура насаждения.

Согласно «Закону о лесах» 1991 г., на основании которого ведется лесное хозяйство в Польше, подготовка к рубке прореживания, или так называемая «ранняя» рубка – это использование отрицательного отбора на ранних стадиях роста древостоя, чтобы ввести как можно больше хороших деревьев в будущий древостой. После перехода насаждения в период прореживания проводится положительное прореживание, выражающееся в отборе и поддержке соответствующего количества деревьев наилучшего качества из верхнего яруса и с высокими темпами роста, равномерно распределенных по насаждению. Необходимо поддерживать биогрупповое размещение деревьев, образующих каркас, с целью их дальнейшего роста до возраста рубки главного пользования. Это достигается путем систематического удаления деревьев, которые мешают нормальному развитию лучших деревьев [10]. Прореживание, при котором используется метод отрицательной селекции (удаление дефектных деревьев), приводит к ухудшению условий роста таких деревьев, а значит – к ухудшению их ценности.

По исследованиям А. В. Давыдова, вскоре после разреживания древостоя мощность скелетных корней, приходящихся на одно дерево, увеличивается по массе в 2–3 раза. Кроме того, после рубки ухода, если она выполнена правильно: удалением деревьев с наклоненным стволом, однобокой кроной, сильно угнетенных и больных, не остается деревьев, подверженных ветровалу и снеголому [11].

Современными особенностями рубок ухода в Германии является слабая интенсивность, но частая их повторяемость, что хорошо сказывается на формировании древостоя, но затратно в экономическом плане. А. А. Вайс в своих исследованиях предлагает проводить отбор деревьев

комбинированным методом с интенсивностью, не превышающей «природного отпада», а также с учетом оптимального размещения и прироста деревьев [12, 13]. При проектировании рубок ухода Е. Ассман в своих исследованиях предложил полноту насаждений выражать тремя степенями: максимальная, оптимальная и критическая [14]. Подобный подход только с использованием абсолютной полноты (сумм площадей сечений) и верхних высот при проектировании рубок ухода практикуется в настоящее время в Финляндии, Германии и других странах с передовым лесным хозяйством.

На основании вышеописанного можно сделать вывод, что для формирования продуктивного древостоя необходимо учитывать его пространственную структуру, классифицировать деревья при назначении в рубку, а также учитывать оптимальные пространственные показатели древостоя до и после проведения рубки.

Основная часть. В 2019 г. на территории Центрального лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза в 13-м выделе 48-го квартала в ельнике кисличном в возрасте 42 лет с составом 10Е + С + Б была заложена пробная площадь. Для ее закладки подбирался выдел, в котором 5−7 лет назад была проведена рубка прореживания. На выделе имеются сохранившиеся пни после рубки для определения пространственной структуры древостоя до и после ее проведения. Это необходимо для выявления влияния последствий изменения пространственной структуры и количественно-качественных показателей древостоя на дальнейшее развитие отдельных деревьев и древостоя в целом. По материалам проведения рубок ухода в Негорельском учебно-опытном лесхозе было установлено, что рубка в данном выделе проводилась в 2013 г.

Для точного определении местоположения всех деревьев или пней (картирования) всю пробную площадь разбивали на квадраты 10×10 м. В целях определения координат местоположения дерева внутри каждого квадрата применялся способ линейной засечки [15]. Измерение расстояния от каждого дерева до двух углов сетки квадратов производилось с использованием ультразвукового дальномера *Haglof DME* (*Haglof*, Швеция) [16]. На основании измеренных величин и известных координат сетки квадратов с использованием геометрических формул находятся координаты всех деревьев и пней.

У каждого дерева на пробной площади были измерены два взаимно перпендикулярных диаметра ствола на высоте 1,3 м, высота ствола, протяженность кроны, два диаметра горизонтальной проекции кроны (север – юг, запад – восток).

На основании полевых данных в *QGIS* создавалась электронная модель древостоя, по которой рассчитывались пространственные показатели каждого отдельного дерева и пней.

Для определения влияния пространственной структуры на прирост деревьев на пробной площади в камеральных условиях канцелярским ножом с кернов срезались неровности и заломы. Далее керны обрабатывались глицерином для увеличения контраста между слоями ранней и поздней древесины. Подготовленные керны сканировались с получением растрового изображения (*RGB*) с разрешением не менее 600 *dpi*. Полученные растровые изображения в дальнейшем обрабатывались в геоинформационной системе *QGIS*. Изначально проводилась их привязка, а далее строился линейный слой для каждого керна, в котором длина одной линии равнялась ширине годичного радиального прироста. Автоматически с использованием калькулятора полей в *QGIS* измерялась ширина всех годичных колец с точностью до сотых миллиметра. Полученные результаты экспортировались в *MS Excel* для дальнейшего анализа [9].

В электронных таблицах *MS Excel* для каждого дерева определялось количество деревьев-конкурентов и средние таксационные и пространственные показатели для центральных деревьев и деревьев-конкурентов. Конкурентом для каждого дерева в рамках данных исследований признаются деревья, имеющие с ним пересечение площадей роста (кругов с радиусом, равным среднему радиусу горизонтальной проекции кроны).

В ходе анализа было определено, что количество деревьев на пробной площади до рубки составляло 436 шт., вырубили 53 дерева, или 12% от количества. Среднее расстояние между деревьями до рубки составляло 0,72 м, а после рубки – 0,70 м. Эти данные свидетельствуют о слабой интенсивности проведенной рубки ухода и незначительном изменении средних пространственных показателей древостоя.

Исследование взаимосвязей между таксационными и пространственными показателями отдельных деревьев, которое проводилось в пакете программ *Statistica*, начиналось корреляционным анализом. Зависимость диаметра ствола от среднего расстояния до конкурентов отображена на графике (рис. 1).

Облако точек, приведенное на графике, свидетельствует об увеличении вариации диаметра ствола с увеличением среднего расстояния до конкурентов. При этом можно заметить, что минимальные значения диаметра 2−6 см могут встречаться при любом значении среднего расстояния до конкурентов от 0,3 м до 2,4 м, а максимальный диаметр интенсивно растет от

4 см для 0,3 м до 26 см при среднем расстоянии до конкурентов 1,95 м. Данные наблюдения говорят о том, что увеличение расстояния до конкурентов уменьшает конкурентное влияние и ослабляет действие пространственной структуры как лимитирующего фактора.

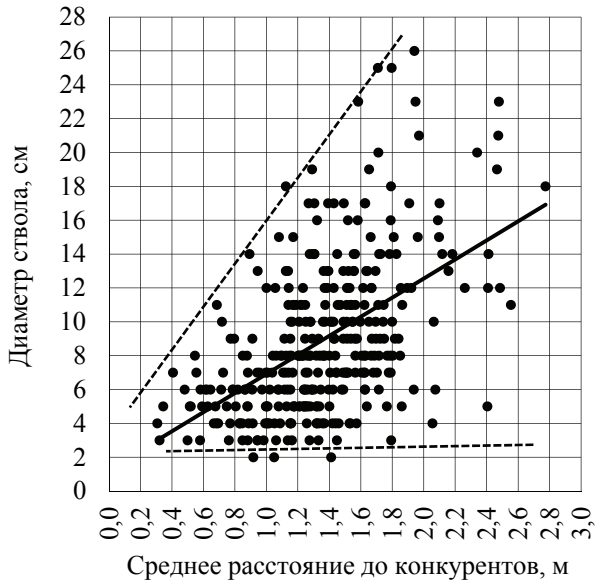


Рис. 1. Зависимость диаметра ствола от расстояния до конкурентов

Для более детального анализа вариации среднего расстояния до конкурентов все данные на пробной площади были разделены на 15 классов. На рис. 2 отображен размах вариации диаметра ствола для каждого из 15 классов расстояния до конкурентов. На графике четко просматривается увеличение этого показателя для классов с расстоянием больше 1,8 м, что свидетельствует об их пограничном значении в вопросе снижения конкуренции.

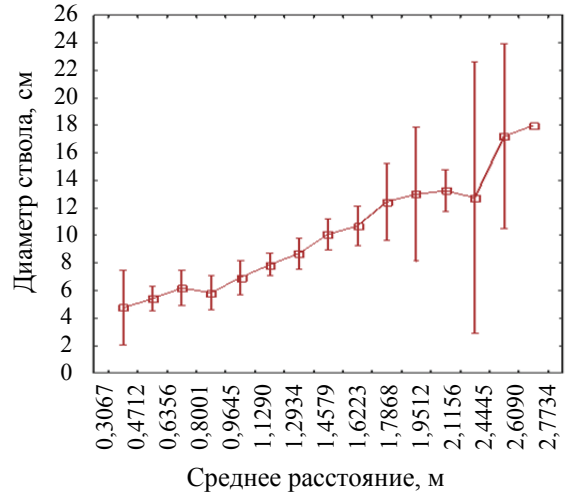


Рис. 2. Размах вариации диаметра ствола от расстояния до конкурентов

Взаимосвязь между средним расстоянием до деревьев-конкурентов и количеством конкурентов представлена на рис. 3. Связь статистически достоверная и имеет коэффициент корреляции, равный 0,364, что свидетельствует о средней силе связи. При этом на графике присутствует линия тренда, которая указывает на увеличение среднего расстояния до деревьев-конкурентов от 1,0 м для 1 дерева-конкурента до 1,5 м для 6 деревьев-конкурентов.

С целью анализа влияния пространственной структуры на дифференциацию древостоя по диаметру для всех пар деревьев на пробной площади был рассчитан коэффициент дифференциации диаметра:

$$T = 1 - D_{min} / D_{max},$$

где T – коэффициент дифференциации диаметра; D_{min} – минимальный диаметр из двух деревьев, см; D_{max} – максимальный диаметр из двух деревьев, см.

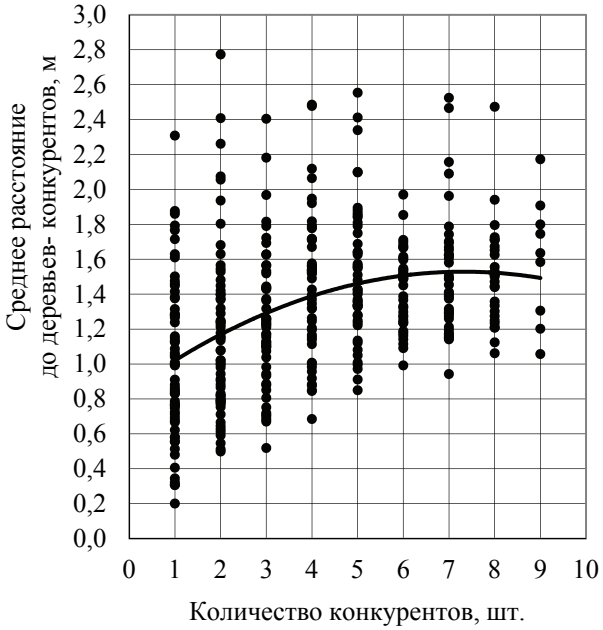


Рис. 3. Зависимость среднего расстояния до деревьев-конкурентов от количества деревьев-конкурентов

На рис. 4 изображена зависимость среднего коэффициента дифференциации диаметра от диаметра ствола центрального дерева. С увеличением диаметра ствола центрального дерева коэффициент дифференциации диаметра уменьшается до значения 0,3, а потом снова увеличивается. Деревья с диаметром, близким к среднему (8,7 см), имеют наименьший коэффициент дифференциации диаметра. Это свидетельствует о том, что у средних деревьев конкуренты с таким же диаметром, близким к среднему. Деревья с наименьшими диаметрами имеют наибольшие значения коэффициента дифферен-

циации, что говорит об их прибывании в окружении деревьев с большим диаметром и сильном влиянии на них конкуренции. Следствием этого являются низкие значения диаметра ствола. Деревья с большими диаметрами имеют большой разброс (вариацию) значений коэффициента дифференциации, что свидетельствует о низком влиянии на них конкуренции и соседстве с деревьями различного диаметра. Динамика роста среднего расстояния имеет следующий вид: от 1 до 2 конкурентов расстояние увеличивается на 0,2 м, а от 5 до 6 конкурентов на 0,05 м, дальнейшее увеличение количества конкурентов не ведет за собой увеличения среднего расстояния до деревьев конкурентов. Данная динамика показывает, что увеличение количества конкурентов связано с увеличением площади роста дерева и, соответственно, среднего расстояния до конкурентов. Деревья с минимальными средними расстояниями до конкурентов имеют от 1 до 3 конкурентов, а увеличение среднего расстояния больше 1,5 м не влечет за собой увеличения количества деревьев конкурентов, что говорит о его пограничном конкурентном значении.

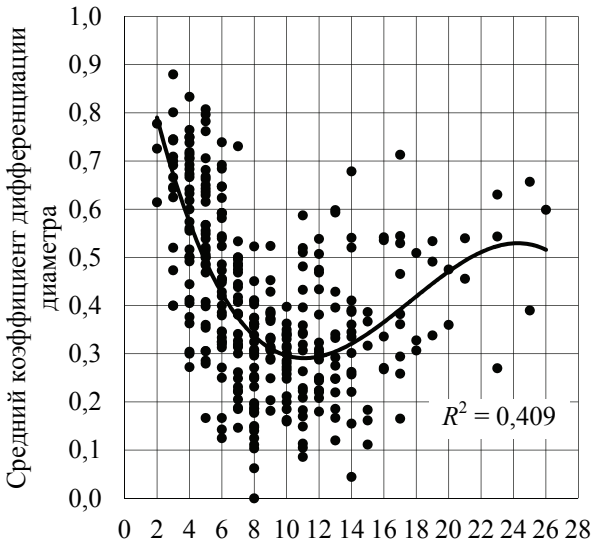


Рис. 4. Зависимость коэффициента дифференциации от диаметра ствола

По материалам проведения рубок промежуточного пользования в лесхозе было установлено, что в данном выделе в 2013 г. была проведена рубка прореживания, это подтверждается данными анализа радиального прироста, отображенными на рис. 5. На графике данные о радиальном приросте разделены на две группы на основании высоты дерева: доминирующие деревья со средней высотой 19,6 м и угнетенные с высотой 12,2 м.

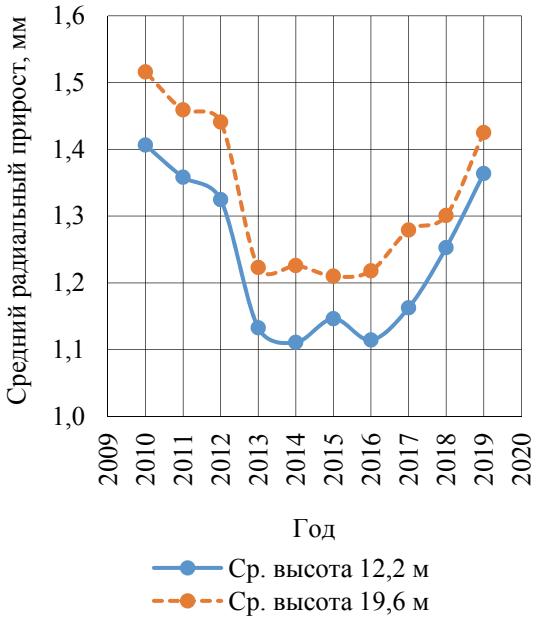


Рис. 5. Динамика радиального прироста доминирующих и угнетенных деревьев

До 2013 г. наблюдается снижение радиального прироста для всех деревьев, после проведения рубки радиальный прирост на протяжении 3 лет остается на том же уровне, после чего, начиная с 2017 г., происходит его увеличение. Динамика радиального прироста двух выделенных групп деревьев схожа, но можно заметить, что разница между приростами до рубки в 1 мм уменьшилась до 0,06, что свидетельствует о лучшей реакции на проведение рубки угнетенных деревьев.

Заключение. На основании проведенных исследований можно заключить, что связь между средним расстоянием до деревьев-конкурентов и диаметром ствола имеет среднюю силу, но является статистически достоверной. При этом наблюдается увеличение вариации диаметра с увеличением данного расстояния, что связано с уменьшением конкуренции как лимитирующего фактора. Для ельника кисличного в возрасте 40 лет определено граничное конкурентное расстояние между деревьями, оно составляет 1,5−1,8 м. При формировании биогрупп в чистом еловом древостое существенной дифференциации по диаметру не происходит. Проведение рубки прореживания влияет на радиальный прирост деревьев, у которых изменилась пространственная структура. В последующие 3 года после рубки прирост остается на уровне года рубки, после чего начинает увеличиваться. Дальнейшие исследования в древостоях других возрастов и условий местопроизрастания позволят разработать таблицы динамики оптимальных пространственных показателей и нормативов проведения рубок ухода.

Список литературы

1. Правила рубок в лесах Республики Беларусь / РД РБ 02080.019.2016. Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2016. 93 с.

2. Санкович М. М., Янушко А. Д. Организация производства и управление предприятием лесного хозяйства: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2004. 271 с.

3. Антонов О. И. Повышение качественной продуктивности насаждений – задача интенсивного лесного хозяйства // Лесной журнал 2017. № 1. С. 86–94.

4. Бойко, С. В. Типы размещения деревьев в естественных сосняках // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. трудов / отв. ред. А. И. Ковалевич. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2011. С. 355–359.

5. Бузыкин А. И. Анализ структуры древесных ценозов. Новосибирск: Наука. Сибир. отделение, 1985. 80 с.

6. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // Продуктивность лесных фитоценозов: сб. ст. / отв. ред. И. Н. Елагин. Красноярск: ИЛИД, 1984. С. 42–47.

7. Kaźmierczak K. Tree crown size as a measure of tree biosocial position in 135-year-old oak (Quercus L.) stand / Folia Forestalia Polonica, series A, 2016, vol. 58 (1). P. 31–42.

8. Усольцев В. А., Семышев М. М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 137 с.

9. Коцан В. В. Продуктивность сосняков мшистых искусственного происхождения различной пространственной структуры в лесорастительных условиях Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Минск, 2016. 22 с.

10. Rozwój metod trzebieżowych: Otwarta Encyklopedia Leśna: lesne forum. URL:http://www.encyklopedia.lasypolskie.pl/doku.php?id=r:rozwoj-metod-trzebiezowych / (дата обращения: 10.02.2021).

11. Давыдов А. В. Рубки ухода за лесом. М.: Лесная пром-сть, 1971. 184 с.

12. Вайс А. А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск, 2014. 25 с.

13. Прокопцев В. В. Лесоводственно-таксационный анализ роста и пространственной структуры сосняков зеленомошников Брянского массива в связи с рубками ухода: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Брянск, 1997. 21 с.

14. Assmann E. Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen / Munchen, Bonn, Wien: Verlagsges, 1961. P. 490.

15. Геодезия: учебник / М. С. Нестеренок [и др.]; под общ. ред. М. С. Нестеренок. Минск: Універсітэцкае, 2001. 312 с.

16. Шебушев А. В. Использование новых лесотаксационных инструментов для таксации лесного фонда // 70-я науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов, 15−20 апр. 2019 г., Минск, 2019. С. 132−136.

References

1. *Pravila rubok v lesakh Respubliki Belarus'* [Rules for felling in the forests of the Republic of Belarus]. Minsk, Minleskhoz Respubliki Belarus' Publ., 2016. 93 p.

2. Sankovich M. M., Yanushko A. D. *Organizatsiya proizvodstva i upravleniye predpriyatiyem lesnogo khozyaystva* [Organization of production and management of a forestry enterprise]. Minsk, BGTU Publ., 2004. 271 p.

3. Antonov O. I. Improving the qualitative productivity of plantations is the task of intensive forestry. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2017, no. 1, pp. 86–94 (In Russian).

4. Boyko S. V. Types of tree placement in natural pine forests. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forestry and forestry]. Gomel', Institut lesa NAN Belarusi Publ., 2011, pp. 355–359 (In Russian).

5. Buzykin A. I. *Analiz struktury drevesnykh tsenozov* [Analysis of the structure of tree cenoses]. Novosibirsk., Nauka Sibirskoye otdeleniye Publ., 1985. 80 p.

6. Gribanov V. Ya. The spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses]. Krasnoyarsk, ILID Publ., 1984, pp. 42–47 (In Russian).

7. Kaźmierczak K. Tree crown size as a measure of tree biosocial position in 135-year-old oak (Quercus L.) stand. *Folia Forestalia Polonica*, series A, 2016, vol. 58 (1), pp. 31–42 (In Poland).

8. Usol'tsev V. A., Semyshev M. M. *Produktsionnyye kharakteristiki s uchetom konkurentsii derev'yev v iskusstvennykh i estestvennykh sosnyakakh: sravnitel'nyy analiz* [Productive characteristics taking into

account the competition of trees in artificial and natural pine forests: a comparative analysis]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2007. 137 p.

9. Kotsan V. V. *Produktivnost' sosnyakov mshistykh iskusstvennogo proiskhozhdeniya razlichnoy prostranstvennoy struktury v lesorastitel'nykh usloviyakh Belarusi. Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Productivity of mossy pine forests of artificial origin of different spatial structure in forest conditions of Belarus. Abstract of thesis PhD (Agriculture Science)]. Minsk, 2016. 22 p.

10. Rozwój metod trzebieżowych: *Otwarta Encyklopedia Leśna : lesne forum.* Available at: http://www.en-cyklopedia.lasypolskie.pl/doku.php?id=r:rozwoj-metod-trzebiezowych / (accessed 10.02.2021).

11. Davydov A. V. *Rubki ukhoda za lesom* [Forest thinning]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 184 p.

12. Vays A. A. *Nauchnye osnovy otsenki gorizontal'noy stryktury drevostoyev dlya povysheniya ikh ustoychivosti i produktivnosti. Dis. dokt. ... s.-kh. nauk* [Scientific basis for assessing the horizontal structure of forest stands for increasing their stability and productivity. Diss. DSc (Agriculture Science)]. Krasnoyarsk, 2014. 25 p.

13. Prokoptsev V. V. *Lesovodstvenno-taksatsionnyy analiz rosta i prostranstvennoy struktury sosnyakov zelenomoshnikov Bryanskogo massiva v svyazi s rubkami ukhoda. Avtoref. dis. kand. ... s.-kh. nauk* [Silvicultural-taxation analysis of the growth and spatial structure of green moss pine forests in the Bryansk massif in connection with thinning. Abstract of thesis PhD (Agriculture Sciense)]. Bryansk, 1997. 21 p.

14. Assmann E. Waldertragskunde. *Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen.* Munchen, Bonn, Wien, Verlagsges, 1961. 490 p.

15. Nesterenok M. S., Nesterenok V. F., Poznyak A. S. *Geodeziya* [Geodesy]. Minsk, Universitetskaye Publ., 2001. 312 p.

16. Shebushev A. V. Use of new forest inventory tools for forest inventory. *70-ya nauchno-teckhnicheskaya konf. uchashchkikhsya, studentov i magistrantov* [70th scientific and technical conference of pupils, students and undergraduates]. Minsk, 2019, pp. 132−136 (In Russian).

Информация об авторах

Коцан Владимир Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Wolodia250@belstu.by

Севко Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: o.sevko@belstu.by

Яронская Татьяна Леонидовна – магистрант кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: yaronskaya94@gmail.com

Information about the authors

Kotsan Vladimir Vasil'yevich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Wolodia250@belstu.by

Sevko Oksana Aleksandrovna − PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.sevko@belstu.by

Yaronskaya Tat'yana Leonidovna – Master's degree student, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yaronskaya94@gmail.com

Поступила 15.03.2021

УДК 630*562

В. П. Машковский, В. П. Зорин, П. В. Севрук
Белорусский государственный технологический университет

СРЕДНИЙ ПРИРОСТ СТОИМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД В БЕЛАРУСИ

Применение среднего прироста при планировании лесопользования позволит определить четкий порядок поступления древостоев в рубку главного пользования, поскольку он положен в основу определения спелостей леса. Динамика среднего прироста стоимости древесины сосны, дуба, березы, осины изучена по данным динамики таксационных показателей модальных древостоев В. Ф. Багинского и ольхи черной по данным таблиц хода роста нормальных древостоев В. Ф. Багинского и Ф. П. Моисеенко. В результате регрессионного анализа выбраны лучшие уравнения, описывающие данную динамику, – полином третьей степени и гиперболы третьего и четвертого порядка. Коэффициенты корреляции уравнений для сосны находятся в пределах от 0,99 до 0,98; для дуба – от 0,99 до 0,97; для мягколиственных пород – от 0,99 до 0,80. Значение критерия Фишера по всем уравнениям выше, чем его критическое значение.

С использованием полученных уравнений связи в рамках алгоритма процесса планирования лесопользования выполняется расчет потерь в стоимости древесины от несвоевременного поступления всех составляющих элементов леса древостоя в рубку главного пользования. Все потери в целом для древостоя суммируются, а минимальная величина потерь показывает оптимальный момент поступления в рубку.

Ключевые слова: прирост средний, потери, рубки главного пользования, планирование лесопользования, план рубки.

Для цитирования: Машковский В. П., Зорин В. П., Севрук П. В. Средний прирост стоимости древесины различных пород Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 12–17.

V. P. Mashkovsky, V. P. Zorin, P. V. Sevruk
Belarusian State Technological University

AVERAGE INCREASE OF TIMBER COST DIFFERENT SPECIES IN BELARUS

The use of the average increase in the planning of cutting will allow us to determine a clear order of receipt of stands in the cutting of the main use, since it is the basis for determining the forest maturity. The dynamics of the average increase of timber cost of pine, oak, birch, and aspen wood was studied based on the data of the dynamics of the taxation value of modal stands of V. F. Baginsky and black alder according to the growth tables of normal stands of V. F. Baginsky and F. P. Moiseenko. As a result of the regression analysis, the best equations describing this dynamics are selected- a polynomial of the third degree and hyperbolas of the third and fourth order. The correlation coefficients of the equations for pine are in the range from 0.99 to 0.98; for oak – from 0.99 to 0.97; for soft-leaved species – from 0.99 to 0.80. The value of the Fisher criterion for all equations is higher than its critical value.

With the use of the obtained equations of communication within the framework of the algorithm of the forest management planning process, the calculation of losses in the cost of wood from late delivery of all species of the stand in the cutting of the main use is performed. All losses as a whole for the stand are summed up, and the minimum value of losses is shown at the optimal moment of entering the cutting.

Key words: average increase, losses, cutting of the main use, planning of cutting, cutting plan.

For citation: Mashkovsky V. P., Zorin V. P., Sevruk P. V. Average increase of timber cost different species in Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 12–17 (In Russian).

Введение. Лес как важнейший возобновляемый глобальный и национальный природный элемент географического ландшафта обеспечивает устойчивое экологическое, экономическое и социальное развитие. Устойчивое лесоуправление является основным условием развития лесного хозяйства страны, повышения качества и конкурентоспособности лесной продукции на внешнем рынке [1].

При лесоустроительном проектировании выполняют расчет и обоснование необходимого объема всех лесохозяйственных мероприя-

тий, направленных на удовлетворение потребностей экономики в древесине путем рационального (устойчивого) использования лесных ресурсов без ухудшения выполняемых защитных, охранных и рекреационно-оздоровительных функций лесов [2].

После определения способа пользования для всех выделов, намеченных в РГП, и ежегодного размера рубки по хозсекциям для каждого вида переходят к составлению плана рубки – ведомости выделов, запроектированных в рубку главного пользования на ревизионный период. Данный план должен определить порядок поступления выделов в РГП по годам ревизионного периода.

Использование динамики среднего прироста позволит определить четкий порядок поступления древостоев. Его применение обосновано тем, что он положен в основу определения многих спелостей [3]. Динамика среднего прироста зависит от породы, условий местопроизрастания, таксационных показателей, экономических условий [3, 4] и характеризуется тремя фазами: в начале наблюдается его рост, который в определенный момент достигает максимальной величины, после чего его значение начинает постепенно снижаться. Момент максимума среднего прироста является оптимальным моментом рубки, отклонение в ту или иную сторону непременно приведет к потерям [5].

Наиболее приемлемой для лесного хозяйства является хозяйственная спелость (возраст, в котором достигается максимум среднего прироста стоимости древесины), поскольку данная спелость вместе с количественной оценкой получаемой древесины (как и техническая) включает еще и ее качественную оценку [3, 6–9].

На прошлых этапах работы приведены методика расчета потерь от несвоевременного поступления древостоев в рубку главного пользования [10–12] и уравнения динамики среднего прироста ели [13].

Для автоматизации процесса определения порядка назначения древостоев в сплошнолесосечную рубку главного пользования нами предложены алгоритм и средства автоматизации вычислений в Microsoft Excel, которые на основании хозяйственной спелости (среднего прироста стоимости древесины) позволяют составить планы отвода лесосек по годам ревизионного периода и распечатать их [12].

Однако для оценки потерь по другим древесным видам необходимо определить их динамику среднего прироста стоимости древесины.

Основная часть. Для древесных видов, представленных в составе лесного фонда Республики Беларусь, динамика среднего прироста стоимости древесины была определена по данным динамики таксационных показателей модальных древостоев В. Ф. Багинского (для сосны, дуба, березы, осины) и таблицы хода роста нормальных древостоев В. Ф. Багинского, Ф. П. Моисеенко (для ольхи черной) с учетом динамики товарности древостоев Ф. П. Моисеенко [14].

Для определения выхода древесины по категориям крупности были использованы товарные таблицы. Стоимость каждой категории рассчитывалась на основании индекса таксовой цены 1 м^3 древесины (табл. 1), который определен по таксовой цене мелкой деловой древесины. Для лесных такс ели, действующих в настоящее время, для каждой категории уровень индексов следующий: крупная деловая древесина – 3,89; средняя деловая древесина – 2,25; мелкая деловая древесина – 1,0; дровяная древесина и ликвид из кроны – 0,02 [15].

Таблица 1

Индексы таксовых цен по различным категориям крупности

Индексы таксовых цен			
по деловой древесине			дровяной древесине
крупной	средней	мелкой	
Сосна			
3,91	2,25	1,00	0,02
Дуб			
5,41	1,80	1,00	0,01
Береза, ольха черная			
2,63	1,50	1,00	0,07
Осина			
2,40	1,52	1,00	0,06

Для учета различной представленности элемента леса в древостое значения анализируемых приростов по таблицам динамики таксационных показателей модальных древостоев были приведены к полноте 1,0.

В результате выполненного регрессионного анализа из большого количества уравнений выбраны лучшие уравнения связи среднего прироста стоимости древесины с возрастом – уравнение полинома третьей степени и гиперболы третьего и четвертого порядка.

Вид уравнения связи анализируемого среднего прироста с возрастом, его коэффициенты по породам приведены в табл. 2, статистические показатели – в табл. 3.

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа по породам

Класс бонитета	Вид уравнения	Коэффициенты уравнения				
		b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
Сосна						
I[а]	Гипербола	–8,30	6 194,5	–384 082,5	689 3045,6	–
I	Гипербола	6,31	2 338,9	–128 200,3	–	646 533 64,0
II	Полином	–3,60 890	0,31 154	–0,00 144	–	–
III	Полином	3,25 646	0,17 832	–	–0,0000 046	–
IV	Полином	–2,03 326	0,10 658	–	–0,0000 022	–
Дуб						
I	Гипербола	–9,76	6688,8	–484 202,9	965 0762,1	–
II	Полином	–9,15 430	0,35626	–0,00139	–	–
III	Полином	–2,47 849	0,12406	–	–0,0000 020	–
Береза						
I[а]	Гипербола	1,91	849,9	–28 728,0	279 645,7	–
I	Полином	3,439 323	0,075 130	–	–0,0000 042	–
II	Полином	3,824 716	–	0,000 729	–0,0000 057	–
III	Полином	3,811 592	–0,035 739	0,00 773	–0,0000 041	–
Осина						
I[в]	Гипербола	1,25	1 001,3	–24 200,9	–	3 135 493,4
I[б]	Гипербола	2,18	813,8	–20 965,3	–	2 939 009,5
I[а]	Гипербола	3,16	640,9	–18 143,0	–	2 780 217,4
I	Гипербола	3,87	487,5	–18 932,3	200 547,3	–
II	Гипербола	2,78	–	16 333,2	–627 737,8	6 305 595,9
Ольха черная						
I[а]	Полином	4,542 750	–	0,003 509	–0,000 030	–
I	Полином	3,809 395	–	0,002 487	–0,000 020	–
II	Полином	3,822 691	–0,039 483	0,002 194	–0,000 015	–
III	Полином	2,779 490	–	0,000 617	–0,000 0048	–

Таблица 3

Статистические показатели уравнений

Показатели	Класс бонитета						
	I[в]	I[б]	I[а]	I	II	III	IV
Сосна							
R	–	–	0,995	0,995	0,99	0,99	0,98
F	–	–	253,05	253,65	159,30	357,85	123,08
$m_{\bar{Z}}$	–	–	0,297	0,289	0,386	0,268	0,343
Дуб							
R	–	–	–	0,997	0,97	0,99	–
F	–	–	–	638,14	97,10	266,11	–
$m_{\bar{Z}}$	–	–	–	0,330	0,884	0,365	–
Береза							
R	–	–	0,94	0,997	0,99	0,97	–
F	–	–	35,625	1342,10	548,30	81,53	–
$m_{\bar{Z}}$	–	–	0,276	0,059	0,064	0,057	–

Окончание табл. 3

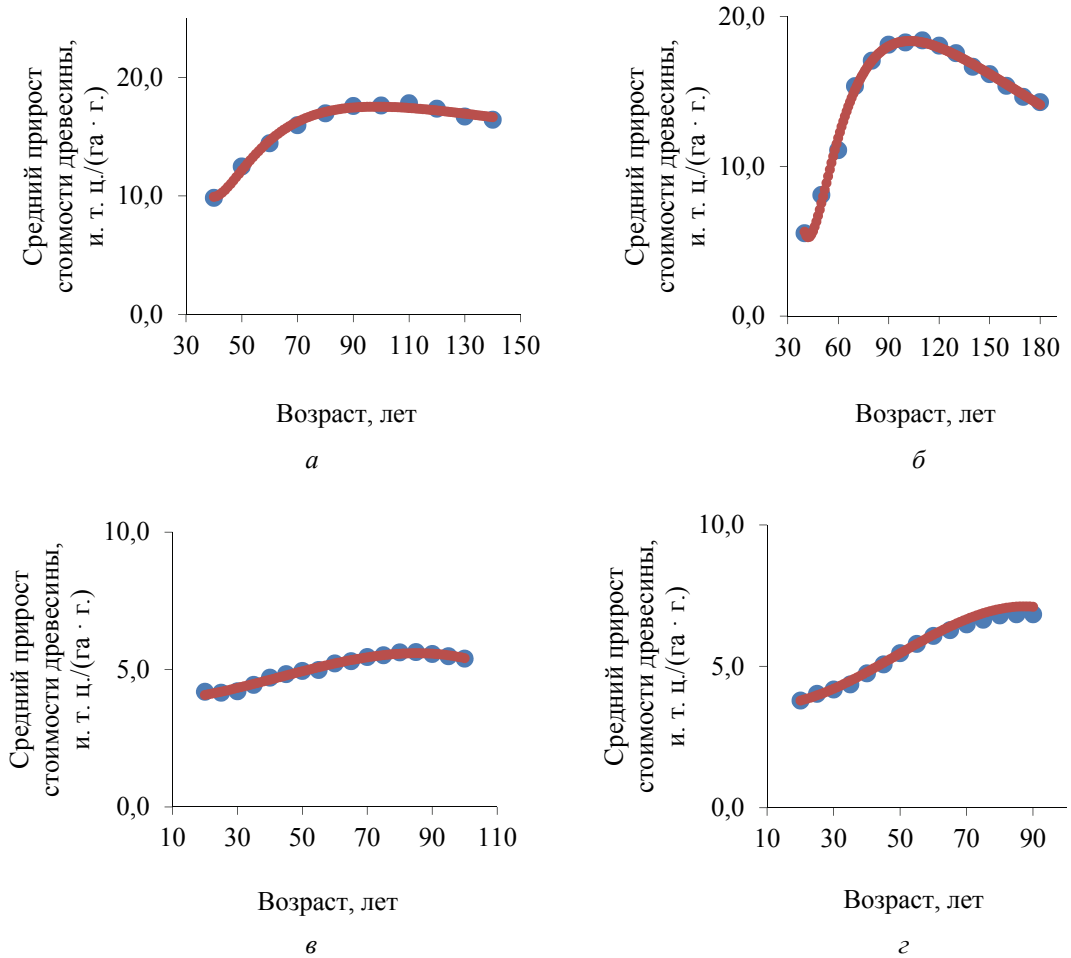
Показатели	Класс бонитета						
	$I^в$	$I^б$	$I^а$	I	II	III	IV
Осина							
R	0,99	0,96	0,91	0,91	0,80	–	–
F	184,73	43,39	17,90	15,56	6,43	–	–
$m_{\bar{Z}}$	0,154	0,234	0,356	0,313	0,471	–	–
Ольха черная							
R	–	–	0,995	0,997	0,999	0,99	–
F	–	–	643,94	932,42	1909,4	490,99	–
$m_{\bar{Z}}$	–	–	0,223	0,146	0,055	0,056	–

Коэффициенты корреляции уравнений находятся в следующих переделах:

– сосна – от 0,99 до 0,98;
– дуб – от 0,99 до 0,97;
– береза – от 0,94 до 0,99;
– осина – от 0,80 до 0,99;
– ольха черная – 0,99.

По значениям критерия Фишера (который по всем уравнениям выше, чем его критическое значение) и небольшой стандартной ошибке можно сделать вывод, что уравнения статистически достоверны.

Примеры некоторых графиков связи среднего прироста стоимости древесины с возрастом приведены на рисунке.



Примеры некоторых графиков связи среднего прироста стоимости древесины с возрастом различных пород:
а – сосна I класса бонитета; *б* – дуб I класса бонитета;
в – береза II класса бонитета; *г* – ольха черная II класса бонитета

Для расчета потерь с 1 га для каждого элемента леса по таксационным показателям необходимо подобрать соответствующее уравнение и по результатам вычисления потерь их просуммировать в целом для древостоя. Минимальная величина потерь показывает оптимальный момент поступления в рубку.

Заключение. Данные динамики среднего прироста стоимости древесины позволят автоматизировать процесс планирования лесосечного фонда, проводить многовариантные расчеты по порядку назначения древостоев в рубку главного пользования, оценивать принятые планы рубки, а также контролировать величину. В результате планирования можно уменьшить потери от несвоевременного поступления древостоев в рубку путем более полного использования среднего прироста.

Список литературы

1. Шмитхюзен Ф. 300 лет практического применения концепции устойчивости в лесном хозяйстве // Устойчивое лесопользование. 2014. № 1. С. 2–8.

2. Лесной кодекс Республики Беларусь: 24 декабря 2015 г. № 332-З: принят Палатой представителей 3 дек. 2015 г.; одобрен Советом Респ. 9 дек. 2015 г. Минск: Амалфея, 2015. 70 с.

3. Ермакоў В. Я., Атрошчанка А. А., Дзямід М. П. Лесаўпарадкаванне: падручнік. 4-е выд. Мінск: БДТУ, 2002. 500 с.

4. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси: история, современное состояние, проблемы и перспективы. Минск: Беларус. навука, 1996. 367 с.

5. Машковский В. П. Методика оценки потерь от несвоевременного поступления древостоев в рубку // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 21–25.

6. Анучин Н. П. Таксация и устройство разновозрастных лесов. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 63 с.

7. Атрощенко О. А., Атрощенко Н. О. Экономическая эффективность оптимизации породной структуры лесов Минлесхоза // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хоз-во. С. 3–5.

8. Лапицкая О. В. Экономическая спелость леса в современных условиях // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. 2013. № 4. С. 108–119.

9. Орлов М. М. Учение о лесном хозяйстве, его развитие, методы и задачи // Лесной журнал. 1895. Вып. 3 [Электронный ресурс] / Вологодская областная универсальная научная библиотека. Вологда, 2017. URL: http://www.booksite.ru/rusles/st_0141.html (дата обращения: 26.02.2021).

10. Машковский В. П., Севрук П. В. Техническая и хозяйственная спелость еловых древостоев // Труды БГТУ. 2016, № 1: Лесное хоз-во. С. 14–18.

11. Машковский В. П., Севрук П. В. Анализ хозяйственной и технической спелости в ельниках по классам бонитета // Сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. 2017. Вып. 77: Проблемы лесоведения и лесоводства. С. 313–322.

12. Машковский В. П., Севрук П. В. Составление планов рубок леса на основе оценки среднего прироста // Труды БГТУ. 2018, № 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. С. 20–24.

13. Машковский В. П., Севрук П. В. Анализ изменения с возрастом стоимости среднего прироста древесины и среднего прироста по запасу крупной и средней древесины в ельниках // Труды БГТУ. 2017. № 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. С. 31–36.

14. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР: утв. приказом Гослесхоза СССР 17.06.1982. М.: Центр. Бюро науч.-техн. ин-форм., 1984. 308 с.

15. Севрук П. В. Динамика стоимости среднего прироста древесины ели при изменении индексов цен на древесину // Труды БГТУ. 2018, № 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. обновляемых ресурсов. С. 31–36.

References

1. Schmithusen F. 300 years of practical application of the concept of sustainability in forestry. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2014, no. 1, pp. 2–8 (In Russian).

2. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Lawbook of the Republic of Belarus]. Minsk, Amalfeya Publ., 2015. 70 p.

3. Yermakoŭ V. Ya., Atroshchanka A. A., Dzyamid M. P. *Lesauparadkavanne* [Forest inventory]. Minsk, BDTU Publ., 2002. 500 p.

4. Baginskiy V. F., Yesimchik L. D. *Lesopol'zovaniye v Belarusi: istoriya, sovremennoye sostoyaniye, problemy i perspektivy* [Forest harvesting in Belarus: history, modern state, problems and prospects]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1996. 367 p.

5. Mashkovskiy V. P. Methods of assessing the losses from delays in collection of the stands to the wheelhouse. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 40–44 (In Russian).

6. Anuchin N. P. *Taksatsiya i ustroystvo raznovozrastnykh lesov* [Taxation and inventory of uneven-aged forests]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1969. 63 p.

7. Atroshchanka O. A., Atroshchanka N. O. Economic efficiency of the optimization of species structure of Forestry Ministry. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1, Forestry, pp. 3–5 (In Russian).

8. Lapitskaya O. V. Economic maturity in modern conditions. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni. P. O. Sukhogo* [Bulletin of the Sukhoi State Technical University of Gomel], 2013, no. 4, pp. 108–119 (In Russian).

9. Orlov M. M. The doctrine of forestry, its development, methods and tasks. *Leshoy zhurnal* [Forest journal], 1895, issue 3. Available at: http://www.booksite.ru/rusles/st_0141.html (accessed 26.02.2021).

10. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. The Technical and Economic Maturity of Spruce Stands. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1, Forestry, pp. 14–18 (In Russian).

11. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. Analysis of Economic and Technical Maturity in Spruce by Scale Index. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Collection of Scientific Papers of the Forest Institute of the NAS of Belarus], 2017, issue 77: Problems of Silviculture and Forest Management, pp. 313–322 (In Russian).

12. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. Compilation of the Cutting Plan Based on of Estimation of the Average Increase. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2018, no. 1, Forestry. Nature management. Processings of renewable resources, pp. 20–24 (In Russian).

13. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. Analysis of Changes the Cost of Average Increase of Timber and the Average Increase of Large and Medium Timber in Spruce by Age. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 31–36 (In Russian).

14. *Normativnyye materialy dlya taksatsii lesa Belorusskoy SSR* [RegulatoryMaterials for Forest Inventory in the Byelorussian SSR]. Moscow, Tsentr. Byuro nauch.-tekn. inform. Publ., 1984. 308 p.

15. Sevruk P. V. Dinamics of the Cost of Average Increase of Timber at Change of the Price Index for Timber. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2018, no. 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 31–36 (In Russian).

Информация об авторах

Машковский Владимир Петрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mashkovsky@belstu.by

Зорин Валентин Павлович – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zorin@belstu.by

Севрук Павел Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sevrukpv@belstu.by

Information about the authors

Mashkovsky Vladimir Petrovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mashkovsky@belstu.by

Zorin Valentin Pavlovich – PhD (Agriculture), Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zorin@belstu.by

Sevruk Pavel Vladimirovich – PhD (Agriculture), assistant lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sevrukpv@belstu.by

Поступила 15.03.2021

УДК 630*63

С. И. Минкевич[1], А. В. Абрамчук[2], В. В. Коцан[1], П. В. Севрук[1], Н. П. Демид[1]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]Ахова птушак Бацькаўшчыны

ВЫЯВЛЕНИЕ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ ОСОБО ЦЕННЫХ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ

В рамках научного исследования выполнен комплекс работ по выявлению в лесном фонде ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз» и ГСЛХУ «Наровлянский спецлесхоз» участков редких и типичных биотопов, мест обитаний диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь. Для решения поставленной цели были реализованы следующие задачи: анализ лесоустроительных материалов лесхоза; оценка имеющихся материалов в лесхозе по ранее выявленным особо ценным лесным участкам; анализ отчетных и других материалов лесхоза по текущей лесохозяйственной деятельности и оперативному лесоуправлению; дополнительное выявление особо ценных лесных участков, подлежащих охране в соответствии с требованиями национальных нормативно-правовых актов; корректировка атрибутивной и картографической информации по выявленным лесным участкам на основе информации, полученной из разных источников; подготовка охранных документов с описанием режима их охраны в соответствии с действующими техническими нормативно-правовыми актами. Природоохранный эффект заключается в создании сети выявленных особо ценных лесных участков в лесном фонде лесхоза, охране выявленных участков с целью поддержания в них естественных сукцессионных процессов роста и развития лесных сообществ. Социальный эффект заключается в использовании материалов работы в образовательных целях и пропаганде экологически ответственного отношения к объектам живой природы, понимания важности сохранения особо ценных лесных участков, создания сети объектов для экологического образования детей местных школ, ВУЗов и взрослого населения.

Ключевые слова: лесхоз, лесоустройство, участки ценные, биотопы типичные, биотопы редкие, виды редкие, животные дикие, растения дикорастущие.

Для цитирования: Минкевич С. И., Абрамчук А. В., Коцан В. В., Севрук П. В., Демид Н. П. Выявление в лесном фонде особо ценных лесных участков // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 18–27.

S. I. Minkevich[1], A. V. Abramchuk[2], V. V Kotsan[1], P. V. Sevruk[1], N. P. Demid[1]
[1]Belarusian State Technological University
[2]APB-BirdLife Belarus

IDENTIFICATION OF SPECIALLY VALUABLE FOREST SITES IN THE FOREST FUND

Within the framework of the scientific research carried out a set of activities aimed at identification of rare and typical biotopes, habitats of wild animals and plants listed in the Red Book of the Republic of Belarus in the forest areas of SSFE “Vetkovskiy special forestry enterprise” and SSFE “Narovlyanskiy special forestry enterprise”. To solve this goal, the following tasks were solved: review of forest inventory data of forestry enterprises; assessment of the data on previously identified highly valued forest sites in forestry enterprises; review of reports and other data on current forestry activities and operational forest management in forestry enterprises; identification of highly valued forest sites to be listed as conservation sites in accordance with national legal and regulatory acts; amendment of attributive and map data on the identified forest sites based on information obtained from various sources; drafting of conservation documents with the description of protection regimes in compliance with the existing technical legal and regulatory acts. A network of the identified highly valued forest sites was created for conservation purposes, including promotion of natural succession growth and development of forest communities. Social impacts include using of the study outcomes for education, building environmental awareness and changing attitude towards wildlife and natural sites, conservation of highly valued forest sites, as well as creating a network of facilities for ecological education of local schoolchildren, university students and adult population.

Key words: forestry institution, forest management inventory, valuable forest sites, typical biotypes, rare biotypes, rare species, wild animals, wild plants.

For citation: Minkevich S. I., Abramchuk A. V., Kotsan V. V, Sevruk P. V., Demid N. P. Identification of specially valuable forest sites in the forest fund. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 18–27 (In Russian).

Введение. Настоящая публикация подготовлена в рамках реализации проекта «Развитие лесного сектора Республики Беларусь» при финансировании мероприятий из средств гранта Глобального экологического фонда (ГЭФ). Содержащиеся в ней выводы, толкования и заключения могут не отражать мнения Всемирного банка и исполнительных директоров Всемирного банка или правительств, представляемых ими стран, а также мнения агентств ГЭФ и доноров.

Цель исследования – проведение комплекса работ по выявлению в лесном фонде ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз» и ГСЛХУ «Наровлянский спецлесхоз» редких и типичных биотопов, мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь.

Основные задачи:

– анализ лесоустроительных материалов лесохозяйственного учреждения (лесхоза), включая картографические материалы и базы данных атрибутивной информации;

– оценка имеющихся материалов в лесохозяйственном учреждении по ранее выявленным особо ценным лесным участкам;

– анализ отчетных и других материалов лесохозяйственного учреждения по текущей лесохозяйственной деятельности и оперативному лесоуправлению;

– выявление особо ценных лесных участков, подлежащих охране в соответствии с требованиями национальных нормативно-правовых актов;

– корректировка атрибутивной и картографической информации по выявленным лесным участкам на основе информации, полученной из разных источников;

– подготовка охранных документов с описанием режима их охраны в соответствии с действующими техническими нормативно-правовыми актами.

Критерии выделения типичных и редких биотопов описаны в техническом кодексе установившейся практики (ТКП) 17.12-06-2014 (02120). «Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Растительный мир. Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких ландшафтов» [1], а также в источнике [2].

К редким и типичным биотопам, подлежащим охране, относятся редкие и типичные для территории Республики Беларусь биотопы, имеющие природоохранную ценность на международном (охраняемые в соответствии с международными договорами стороной которых является Беларусь) и национальном уровнях.

К типичным биотопам относятся естественные или полуестественные природные биотопы, которые в настоящее время широко распространены по территории страны и отражают наиболее характерные (типичные) особенности природных зон, однако в результате воздействия хозяйственной деятельности либо изменения характера землепользования быстро трансформируются или имеют тенденцию к сокращению площади.

К редким биотопам относятся естественные и полуестественные биотопы, которые в силу своих природных особенностей являются уникальными для территории страны. Это участки с реликтовой флорой и фауной, азональные экосистемы со специфическими формами рельефа, почвой, гидрохимическим режимом и др. Редкие биотопы занимают не более 1% от площади страны [3].

Нормативно-правовым актом при разработке охранных документов для мест произрастания дикорастущих растений и мест обитания диких животных, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь [4, 5], является постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 мая 2009 г. № 638 «О некоторых вопросах обращения с дикими животными и дикорастущими растениями» (в редакции 2018 г.). С использованием этого документа оформляются паспорта и охранные обязательства для мест произрастания дикорастущих растений и мест обитания диких животных, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь. Режим охраны для видов, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, устанавливается в соответствии с техническими нормативными правовыми актами, утвержденными Министерством природы. Актуальными документами, в которых определены режимы охраны для охраняемых видов животных, растений, лишайников и грибов, являются:

- ТКП 17.05-01-2014 (02120). «Охрана окружающей среды и природопользование. Растительный мир. Правила охраны дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и мест их произрастания» [6];
- ТКП 17.07-01-2014 (02120). «Охрана окружающей среды и природопользование. Животный мир. Правила охраны диких животных, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и мест их обитания» [7].

Все вышеперечисленные ТКП утверждены Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 22 мая 2014 г. № 5-т «Об утверждении и введении в действие технических нормативных правовых актов».

Основная часть. Государственное специализированное лесохозяйственное учреждение

«Ветковский спецлесхоз» Гомельского государственного производственного лесохозяйственного объединения Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь расположено в восточной части Гомельской области на территории Ветковского, Добрушского, Чечерского и Буда-Кошелевского административных районов [8].

Согласно лесорастительному районированию Республики Беларусь леса спецлесхоза относятся к Полесскому комплексу лесных массивов, геоботанической подзоне широколиственно-сосновых лесов [9].

Государственное специализированное лесохозяйственное учреждение «Наровлянский спецлесхоз» Гомельского государственного производственного лесохозяйственного объединения расположено в южной части Гомельской области на территории Наровлянского и Мозырского районов [10].

По геоботаническому районированию (И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман) леса лесхоза относятся к южной подзоне широколиственно-сосновых лесов Припятско-Мозырского (севернее р. Словечна) и Южно-Полесского (южнее р. Словечна) комплекса лесных массивов [9].

Выбор объектов обусловлен тем, что в дополнение к лесоустроительным работам, которые проходят в настоящее время в лесхозах, будут учтены результаты выявления особо ценных лесных участков в дальнейшем лесоустроительном проектировании и составлении нового лесоустроительного проекта.

Подготовительные работы. Основными материалами при предварительном отборе особо ценных лесных участков являются следующие:

– данные лесоустроительного проектирования;

– картографические и атрибутивные данные в ГИС;

– материалы оперативного лесоуправления.

В процессе анализа данных лесоустроительного проектирования использованы такие документы, как:

- лесоустроительный проект;
- таксационное описание;
- ведомости рубок леса;
- картографические материалы.

На стадии предварительного отбора на основе анализа таксационных и картографических материалов, а также с использованием материалов дистанционного зондирования земли составляется предварительный перечень участков (кварталы / выдела), соответствующих критериям редких и типичных биотопов, в том числе картографические материалы. Границы биотопа в лесах на землях лесного фонда во всех случаях привязываются к границам соответствующего таксационного выдела или группы выделов.

Опираясь на подготовленные списки выделов, для проверки картографических материалов на первоначальном этапе из повыдельных баз данных лесхозов в программе Access были сделаны выборки объектов, относящихся к предполагаемым редким или типичным биотопам. Для работы с картографическими данными в Quantum GIS была произведена выборка векторных данных. К полученным картографическим слоям, отображающим границы и местоположение редких и типичных биотопов, мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, была подвязана информация об их принадлежности к определенному биотопу, и таксационная характеристика выдела из повыдельной базы данных лесоустройства. Эти данные позволили более рационально планировать полевые работы.

Затем проводится первичное согласование с лесхозом для исключения попадания в предварительный перечень участков, на которые выписаны лесорубочные билеты (или проведены рубки) (рис. 1). Ознакомившись со списком участков, лесхоз может внести свои предложения по его изменению.

Полевые работы. На втором этапе работ в ходе полевого обследования потенциальных участков проводится уточнение и верификация таксационных данных (тип леса, состав и др.), а также оценивается ряд других важных критериев, которым должны соответствовать редкие и типичные биотопы, в частности:

– наличие в составе древостоя чужеродных видов и / или видов интродуцентов (редкие и типичные биотопы должны быть представлены аборигенными древесными видами растений);

– степень естественности (отсутствие видимых следов хозяйственной деятельностью в течение последнего времени);

– наличие старых, умирающих деревьев и мертвой древесины;

– присутствие живых деревьев, покрытых мхами и / или лишайниками (с учетом типа леса);

– наличие сухостойных деревьев;

– факт существования крупного (более 20 см) валежа разных стадий разложения;

– наличие «окон» в пологе и полян;

– присутствие редких и охраняемых видов животных и растений, охраняемых в соответствии с национальным или международным законодательством (включенные в Красную книгу Республики Беларусь, в Резолюцию № 6 Бернской конвенции (виды животных, растений, охрана которых требует создания охраняемых территорий [11–13]) и др.

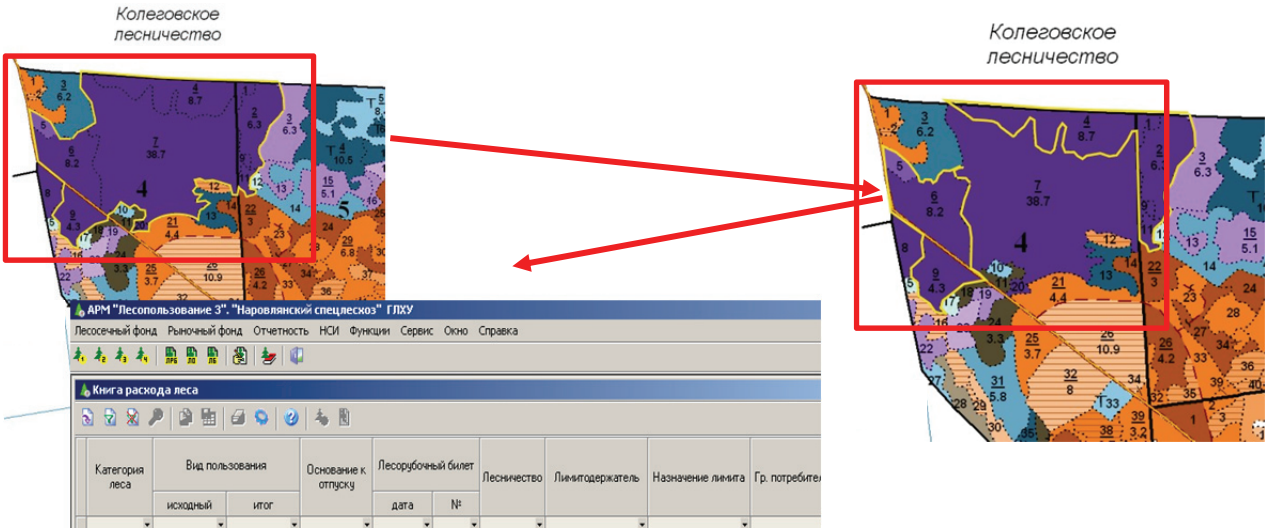


Рис. 1. Границы участка типичного биотопа, выделенного на предварительном этапе, и после согласования и полевого этапа

Также оценивается степень антропогенного воздействия на леса, в частности:

- насаждения должны быть естественного происхождения;
- класс биологической устойчивости (за исключением разновозрастных сосняков и ельников, в которых идут восстановительные процессы);
- лесохозяйственная деятельность (отсутствие видимых следов (пни) недавних рубок, допустимы единичные пни);
- отсутствие / наличие действующих мелиоративных систем (при наличии – дренирующее воздействие каналов слабое (заболочены).

При полевом обследовании проводится и оценка соответствия реального видового состава растительности (наличие индикаторных видов) характерному для данного биотопа составу растительности.

Полевые обследования предварительно выбранных участков выполняются в сезон вегетации.

Кроме указанных выше показателей, с помощью GPS навигаторов определяются координаты каждого участка (группы участков), делается одна или несколько его фотографий.

Результатом второго этапа работ является уточненный перечень участков, соответствующих критериям редких и типичных биотопов. Данный перечень повторно согласовывается с лесхозом.

Инвентаризация редких и находящихся под угрозой исчезновения видов, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, проводилась в соответствующий период размножения или вегетационный период (для большинства видов – это март – июль). При планировании полевых маршрутов предпочтение отдавалось старовозрастным мало нарушенным участкам лесов, а также азональным экосистемам (участки болот, поймы рек и др.). Для каждого места обитания / произрастания производилась фотосъемка и фиксировались координаты.

Работы проводились с минимально возможным беспокойством для видов. В случае выявления гнезда или выводка после фото участка и фиксации координат данный участок немедленно покидался для предотвращения излишнего беспокойства. Фиксация мест произрастания и непосредственно видов охраняемых растений осуществлялась без их изъятия из среды с помощью фотографирования.

Для выявления мест произрастания охраняемых видов растений, лишайников и грибов в ходе движения по заранее спланированным маршрутам проводилось обследование соответствующих подходящих экотопов и фаций. При выявлении вида описывалось состояние популяции, с помощью GPS навигаторов определялись координаты места обитания, делались одна или несколько фотографий участка, а также вида (для растений).

Верификация данных. Верификация выполнена с целью контроля данных, приведенных в охранных документах, и базы данных редких и типичных биотопов, мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь. Верификация проведена перекрестным методом: один исполнитель проверял охранные документы, подготовленные другим исполнителем, и наоборот.

В процессе верификации проверены полнота и актуальность данных охранных документов, в том числе: полнота перечня кварталов и

выделов, а также величина площади, передаваемой под охрану; географические координаты центральных точек биотопа и места обитания или произрастания видов; режим охраны.

Анализ картографических и атрибутивных данных в ГИС. Корректность картографических материалов проводилась по данным дистанционного зондирования земли на основании снимков с вебсервиса Bing (рис. 2) и материалов Google Maps (рис. 3), а также с использованием векторных данных в свободном доступе OpenStreetMap (рис. 4).

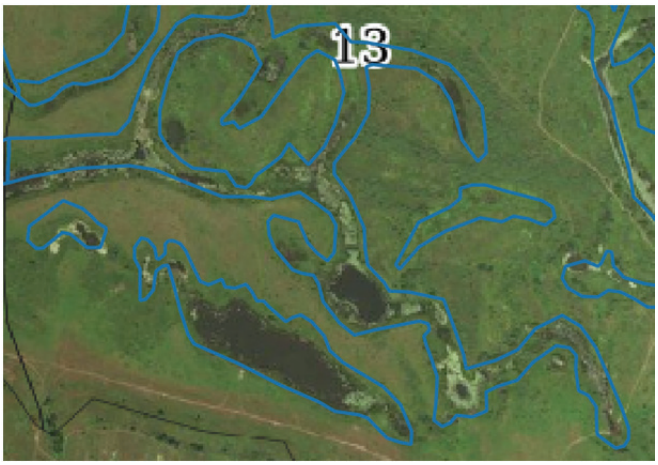


Рис. 2. Пример проверки картографических материалов по данным вебсервиса Bing

Рис. 3. Пример проверки картографических материалов по данным Google Maps

Рис. 4. Пример проверки картографических материалов по данным OpenStreetMap

Например, при анализе данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) можно было оценить состояние озер, которые в момент проведения полевых изысканий находились в осушенном виде, но по данным ДЗЗ в весенний период и другие менее засушливые годы имеют достаточный уровень воды.

При верификации картографических материалов по данным OpenStreetMap анализировалось местоположение редких и типичных биотопов, а также мест обитания диких животных и растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь в границах административных районов, их близость к населенным пунктам, путям транспорта и т. д. для оценки возможных рисков проведения охранных мероприятий на данной территории.

С использованием Quantum GIS также была выполнена проверка данных с GPS устройств, с помощью которых осуществлялось фиксирование местоположения исследователя при проведении полевых работ для устранения технических ошибок и перенесения их в охранные документы (рис. 5).

В рамках проводимых работ также были проанализированы картографические материалы с использованием классификации векторных данных на основании их таксационной характеристики. Тематические карты редких и типичных биотопов по преобладающей породе, возрасту, типу леса, типу условий местопроизрастания позволили оценить правильность выделения биотопов, а их пространственная оценка дала возможность произвести рациональное распределение выделов между охранными документами (паспортами).

Подготовка охранных документов. Заключительным этапом работы является подготовка паспортов и охранных обязательств для выделенных биотопов и мест обитания / произрастания редких видов.

Охранные документы для выделенных биотопов составляются в соответствии с формами, установленными в постановлении Совета Министров Республики Беларусь № 611 от 12 июля 2013 г. «Об утверждении Положения о порядке передачи типичных и (или) редких природных ландшафтов и биотопов под охрану пользователям земельных участков и (или) водных объектов» [14].

Охранные документы для выделенных мест обитания / произрастания редких и находящихся под угрозой исчезновения видов, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, составляются в соответствии с формами, установленными в постановлении Совета Министров Республики Беларусь № 638 от 18 мая 2009 г. «О некоторых вопросах обращения с дикими животными и дикорастущими растениями» (в редакции 2018 г.) [15].

Паспорт и охранное обязательство готовятся для каждого участка или группы участков, включающих один или несколько выделов. Для каждого паспорта готовится картографический материал, в котором на лесоустроительных картах отмечены границы выделов, отнесенных к тому или иному участку редкого либо типичного биотопа, указываются координаты участка (участков), а также прилагается фото наиболее характерной части биотопа.

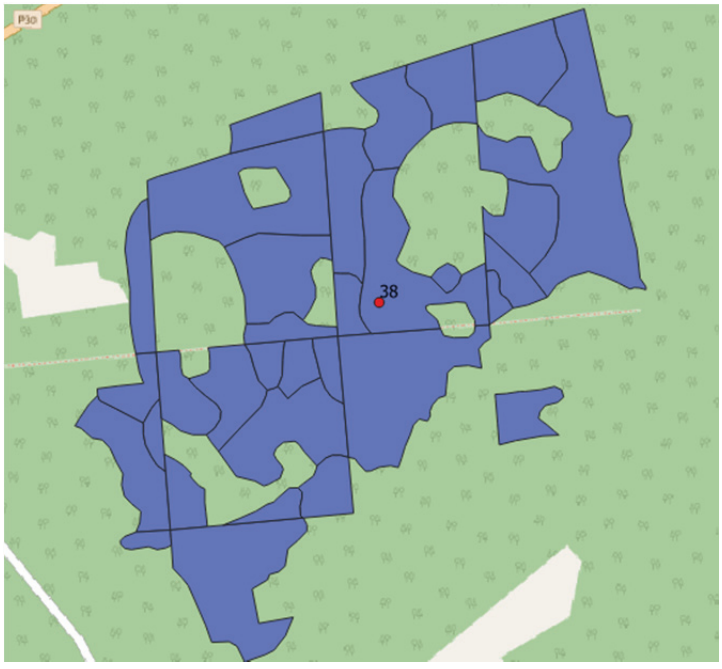


Рис. 5. Пример проверки GPS координат объектов исследований

Заключение. В результате проведения подготовительных и полевых работ на территории ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз» и ГСЛХУ «Наровлянский спецлесхоз» были выявлены участки обитания редких и исчезающих видов животных и участки произрастания редких и исчезающих видов растений, также выполнен выборочный мониторинг по ранее выявленным лесным участкам редких видов (табл. 1, 2).

На территории Ветковского и Наровлянского спецлесхозов выделены 2 группы биотопов: а) биотопы пресноводных водотоков и водоемов (выявлена одна подгруппа); б) биотопы лесов (выявлено 11 подгрупп). Общая площадь типичных и редких биотопов по Ветковскому спецлесхозу составляет 2 728,9 га, а по Наровлянскому лесхозу – 2 575,4 га. Данные площади составляют соответственно 3,6 и 4,4% от лесопокрытой площади лесхоза.

Распределение подгрупп биотопов по проценту площади приведено в табл. 3.

Таблица 1

Общие данные по количеству участков редких и исчезающих видов животных

Название вида дикого животного	Общая площадь, га	
	Ветковский спецлесхоз	Наровлянский спецлесхоз
Барсук (*Meles meles*)	–	1,7
Белоспинный дятел (*Dendrocopos leucotos*)	–	47,2
Большой дубовый усач (*Cerambyx cerdo*)	15,4	–
Европейская рысь (*Lynx lynx*)	–	48,0
Коростель (*Crex crex*)	1369,3	260,4
Мухоловка-белошейка (*Ficedula albicollis*)	507,5	229,5
Погоныш малый (*Porzana parva*)	39,5	–
Серый журавль (*Grus grus*)	–	56,0
Черный аист (*Ciconia nigra*)	–	102,6
Итого	**1931,7**	**745,4**

Таблица 2

Общие данные по количеству участков редких и исчезающих видов растений

Название вида дикорастущего растения	Общая площадь, га
Ветковский спецлесхоз	
Лапчатка белая (*Potentilla alba*)	33,6
Горичник олений (*Peucedanum cervaria*)	27,5
Дрок германский (*Genista germanica*)	31,1
Медуница узколистная (*Pulmonaria mollis*)	17,6
Шалфей луговой (*Salvia pratensis*)	9,3
Лилия кудреватая (*Lilium martagon*)	34,6
Чемерица Лобеля (*Veratrum lobeliánum*)	89,1
Касатик сибирский (*Iris sibirica*)	852,5
Фомитопсис розовый (*Fomitopsis rosea*)	5,4
Итого	**1100,7**
Наровлянский спецлесхоз	
Лилия кудреватая (*Lilium martagon*)	4,0
Касатик сибирский (*Iris sibirica*)	42,3
Фиалка топяная (*Viola uliginosa*)	30,2
Ликоподиелла заливаемая (*Lycopodiella inundata*)	2,7
Росянка промежуточная (*Drosera intermedia*)	1,4
Сальвиния плавающая (*Salvinia natans*)	13,3
Пунктелия грубоватая (*Punctelia subrudecta*)	3,2
Итого	**97,1**

Таблица 3

Общие данные по количеству участков, выявленных типичных и редких биотопов

Номер и название биотопа	Площадь, %	
	Ветковский спецлесхоз	Наровлянский спецлесхоз
2.3. Естественные эвтрофные и мезотрофные озера	3,9	1,0
6.1. Западная тайга	9,8	–
6.5. Лесные пастбища	–	0,3
6.6. Черноольховые и пушистоберезовые леса на избыточно увлажненных почвах и низинных болотах	51,8	30,8
6.7. Неморальные широколиственные леса с грабом	7,1	27,3
6.8. Хвойные леса на верховых, переходных и низинных болотах, березовые леса на переходных болотах	1,0	0,2
6.9. Лиственные леса в долинах рек	16,8	4,2
6.10. Пойменные дубравы	2,0	31,1
6.11. Сосняки лишайниковые	5,3	1,7
6.12. Сосново-дубовые леса	1,3	2,9
6.15. Леса в оврагах и на крутых склонах вдоль рек и вокруг озер	1,0	0,1
6.10–6.15. Комплекс биотопов: леса в оврагах и на крутых склонах вдоль рек и озер и пойменные дубравы	–	0,3
Итого	**100,0**	**100,0**

Природоохранный эффект работы заключается в создании сети выявленных ценных лесных участков в лесном фонде лесхоза, охране выявленных участков с целью поддержания естественных сукцессионных процессов развития лесных сообществ.

Установленные меры охраны будут способствовать поддержанию естественной среды, необходимой для жизнедеятельности выявленных редких видов животных и роста редких и исчезающих видов растений.

Социальный эффект заключается в использовании материалов работы в образовательных целях и пропаганде экологически ответственного отношения к живой природе, создании сети объектов для экологического образования на примере конкретных особо ценных лесных участков, понимании важности сохранения лесов для будущих поколений.

Проекты охранных документов переданы на рассмотрение и утверждение в районные инспекции Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Список литературы

1. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Растительный мир. Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких ландшафтов: ТКП 17.12-06-2014 (02120). Введ. 01.08.2014. Минск: Минприроды, 2014. 114 с.

2. Ключ для определения редких и типичных биотопов / Брестское областное отделение АПБ. [Электронный ресурс]. URL: http://brestnatura.org/media/filer_public/82/51/8251b24a-6f44-4cd2-8147-7fe26872c67f/kliuch_dlia_opredeleniia _redkikh_i_tipichnykh_biotopov_lesov_rb_2016.pdf (дата обращения: 12.08.2020).

3. Редкие биотопы Беларуси / под общ. ред. А. В. Пугачевского. Минск: Альтиора: Живые краски, 2013. 300 с.

4. Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. 4-е изд. Минск: Беларуская энцыклапедыя, 2015. 317 с.

5. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; Национальная академия наук Беларуси. 4-е изд. Минск: Беларуская энцыклапедыя, 2015. 448 с.

6. Охрана окружающей среды и природопользование. Растительный мир. Правила охраны дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и мест их произрастания: ТКП 17.05-01-2014 (02120). Введ. 01.08.2014. Минск: Минприроды, 2014. 100 с.

7. Охрана окружающей среды и природопользование. Животный мир. Правила охраны диких животных, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и мест их обитания: ТКП 17.07-01-2014 (02120). Введ. 01.08.2014. Минск: Минприроды, 2014. 141 с.

8. Проект организации и развития лесного хозяйства ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз» Гомельского ПЛХО на 2012–2021 годы. Минск, 2011. Т. 1: Пояснительная записка. 405 с.

9. Юркевич И. Д., Гельтман В. С. География, типология и районирование лесной растительности Беларуси. Минск: Наука и техника, 1965. 288 с.

10. Проект организации и развития лесного хозяйства ГСЛХУ «Наровлянский спецлесхоз» Гомельского ПЛХО на 2012–2021 годы. Минск, 2011. Т. 1: Пояснительная записка. 390 с.

11. Harmonisation between lists of habitat types targeted by Resolution 4 (1996) of the Bern Convention and Annex I of the Habitats Directive. Website of Council of Europe. URL: (https://rm.coe.int/0900001680746503) (дата обращения: 25.08.2020).

12. Makomaska-Juchiewicz M., Baran P. (red.). 2012. Monitoring gatunków zwierząt. Przewodnik metodyczny. Część III. URL: http://siedliska.gios.gov.pl/images/pliki_pdf/publikacje/Monitoring-gatunkw-zwierzt.-Przewodnik-metodyczny.-Cz-III.pdf (дата обращения: 26.08.2020).

13. The Interpretation Manual of European Union Habitats. URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/docs/Int_Manual_EU28.pdf (дата обращения: 27.08.2020).

14. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12 июля 2013 г. № 611 «Об утверждении Положения о порядке передачи типичных и (или) редких природных ландшафтов и биотопов под охрану пользователям земельных участков и (или) водных объектов» / Сайт Информационно-правовой системы нормативка.by. URL: (https://normativka.by/lib/document/500180944/sid/329689971a1b41a89613d27ef847dcd1) (дата обращения: 16.08.2020).

15. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 мая 2009 г. № 638 «О некоторых вопросах обращения с дикими животными и дикорастущими растениями» / Сайт Информационно-правовой системы нормативка.by. URL: (https://normativka.by/lib/document/500066066/sid/6a5f2a84568147418 57283a50 c840ec3) (дата обращения: 13.08.2020).

References

1. TKP 17.12-06-2014 (02120). Environmental protection and nature management. Territories. Vegetable world. Rules for the selection and protection of typical and rare biotopes, typical and rare landscapes. Minsk, Minprirody Publ., 2014. 114 p. (In Russian).

2. *Klyuch dlya opredeleniya redkikh i tipichnykh biotopov* [Key for identifying rare and typical biotopes]. Available at: http://brestnatura.org/media/filer_public/82/51/8251b24a-6f44-4cd2-8147-7fe26872c67f/kliuch_dlia_opredeleniia_redkikh_i_tipichnykh_biotopov_lesov_rb_2016.pdf. (accessed 12.08.2020).

3. *Redkiye biotopy Belarusi* [Rare biotopes of Belarus] / ed. A. V. Pugachevskiy. Minsk, Al'tiora: Zhivyye kraski Publ., 2013. 300 p.

4. *Krasnaya kniga Respubliki Belarus'. Zhivotnyye: redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy dikikh zhivotnykh* [Red Book of the Republic of Belarus. Animals: rare and endangered species of wild animals]. Minsk, Belaruskaya entsyklapedyya Publ., 2015. 317 p.

5. *Krasnaya kniga Respubliki Belarus': redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy dikorastushchikh rasteniy* [Red Book of the Republic of Belarus: rare and endangered species of wild]. Minsk, Belaruskaya entsyklapedyya Publ., 2015. 448 p.

6. TKP 17.05-01-2014 (02120). Environmental protection and nature management. Vegetable world. Rules for the protection of wild-growing plants belonging to the species included in the Red Book of the Republic of Belarus, and their places of growth. Minsk, Minprirody Publ., 2014. 100 p. (In Russian).

7. TKP 17.12-06-2014 (02120). Environmental protection and nature management. Animal world. The rules for the protection of wild animals related to the species included in the Red Book of the Republic of Belarus and their habitats. Minsk, Minprirody Publ., 2014. 141 p. (In Russian).

8. *Proyekt organizatsii i razvitiya lesnogo khozyaystva GSLKHU "Vetkovskiy spetsleskhoz" Gomel'skogo PLKHO na 2012–2021 gody* [Forestry organization and development project of the SSFE "Vetkovskiy special forestry enterprise" Gomel SPFA for 2012–2021]. Minsk, 2011, vol. 1, Explanatory note. 405 p.

9. Yurkevich I. D., Gel'tman V. S. *Geografiya, tipologiya i rayonirovaniye lesnoy rastitel'nosti Belarusi* [Geography, typology and zoning of forest vegetation in Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1965. 288 p.

10. *Proyekt organizatsii i razvitiya lesnogo khozyaystva GSLKHU "Narovlyanskiy spetsleskhoz" Gomel'skogo PLKHO na 2012–2021 gody* [Forestry organization and development project of the SSFE "Narovlyanskiy special forestry enterprise" Gomel SPFA for 2012–2021]. Minsk, 2011, vol. 1, Explanatory note. 390 p.

11. Harmonisation between lists of habitat types targeted by Resolution 4 (1996) of the Bern Convention and Annex I of the Habitats Directive. *Website of Council of Europe*. Available at: https://rm.coe.int/090000168074 6503 (accessed: 25.08.2020).

12. Makomaska-Juchiewicz M., Baran P. (red.). 2012. Monitoring gatunków zwierząt. *Przewodnik metodyczny*. Część III. Available at: http://siedliska.gios.gov.pl/images/pliki_pdf/publikacje/Monitoring-gatunkw-zwierzt.-Przewodnik-metodyczny.-Cz-III.pdf (accessed 26.08.2020).

13. The Interpretation Manual of European Union Habitats. Available at: https://ec.europa.eu/ environment/nature/legislation/habitatsdirective/docs/Int_Manual_EU28.pdf (accessed 27.08.2020).

14. *Ob utverzhdenii Polozheniya o poryadke peredachi tipichnykh i (ili) redkikh prirodnykh landshaftov i biotopov pod okhranu pol'zovatelyam zemel'nykh uchastkov i (ili) vodnykh ob"yektov* [On approval of the Regulations on the procedure for transferring typical and (or) rare natural landscapes and biotopes under protection to users of land plots and (or) water bodies]. Available at: https://normativka.by/lib/ document/500180944/sid /329689971a1b41a89613d27ef847dcd1 (accessed 16.08.2020).

15. *O nekotorykh voprosakh obrashcheniya s dikimi zhivotnymi i dikorastushchimi rasteniyami* [On some issues of handling wild animals and wild plants]. Available at: https://normativka.by/lib/document/ 500066066/sid/6a5f2a84568147418 57283a50 c840ec3 (accessed 13.08.2020).

Информация об авторах

Минкевич Сергей Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: minkevich@belstu.by

Абрамчук Андрей Викторович – председатель Лесной рабочей группы. Ахова птушак Бацькаўшчыны (224025, г. Брест, ул. лейтенанта Рябцева, 100-14, Республика Беларусь). E-mail: egreta113@mail.ru

Коцан Владимир Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Wolodia250@belstu.by

Севрук Павел Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sevrukpv@belstu.by

Демид Николай Петрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: demid@belstu.by

Information about the authors

Minkevich Siarhei Ivanavich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: minkevich@belstu.by

Abramchuk Andrey Viktorovich – Chairman of the Forest Working Group. APB-BirdLife Belarus (100-14, Leytenanta Ryabtseva str., 224025, Brest, Republic of Belarus). E-mail: egreta113@mail.ru

Kotsan Vladimir Vasil'yevich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Wolodia250@belstu.by

Sevruk Pavel Vladimirovich – PhD (Agriculture), assistant lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sevrukpv@belstu.by

Demid Nikolay Petrovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: demid@belstu.by

Поступила 15.03.2021

УДК 630*232

О. А. Севко
Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ НА ПРИРОСТ ВТОРОГО ЯРУСА ЕЛИ В СЛОЖНОМ ДРЕВОСТОЕ

В работе представлено исследование влияния изменения пространственной структуры на прирост еловой части сложного древостоя и возможности формирования оптимальной пространственной структуры рубками ухода. Полученные результаты позволяют оптимизировать проводимые рубки ухода для увеличения прироста древостоев и получения максимальной прибыли от лесовыращивания.

На основании пространственного распределения деревьев в сложном древостое проводилась оценка их межвидового влияния на рассматриваемые деревья ели, находящиеся во втором ярусе. При исследовании использовался регрессионный анализ зависимости радиального прироста от пространственной структуры древостоя вокруг исследуемых деревьев. Радиальный прирост изучался по всем кернам, взятым у 20% деревьев ели на пробной площади. Оценено влияние соседних деревьев на центральные деревья и выявлены наиболее значимые воздействующие параметры.

Установлено, что увеличение прироста по объему через 5–6 лет после рубки ухода достигало 30–37%. Коэффициенты корреляции рассматриваемых уравнений связи таксационных показателей исследуемых деревьев ели от пространственной структуры древостоя достигали 0,67–0,72. Наибольшее влияние при этом оказывали деревья сосны и березы, находящиеся в первом ярусе древостоя.

Ключевые слова: текущий прирост, пространственная структура, сосново-березовый древостой, регрессионный анализ.

Для цитирования: Севко О. А. Влияние изменения пространственной структуры на прирост второго яруса ели в сложном древостое // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобнобляемых ресурсов, 2021. № 2 (246). С. 28–35.

O. A. Sevko
Belarusian State Technological University

THE INFLUENCE OF CHANGES IN THE SPATIAL STRUCTURE ON THE GROWTH OF THE SECOND LAYER OF SPRUCE IN A COMPLEX TREE

The paper presents a study of the influence of changes in the spatial structure on the growth of the spruce part of a complex stand and the possibility of forming an optimal spatial structure by thinning. The results obtained make it possible to optimize the ongoing thinning to maximize the growth of forest stands and to maximize the profit from forest growing.

Based on the spatial distribution of trees in a complex forest stand, an assessment was made of the interspecific influence of trees on the considered spruce trees located in the second tier of the stand. The study used a regression analysis of the dependence of radial growth on the spatial structure of the stand around the trees under study. Radial growth was studied using core samples taken from 20% of spruce trees on the test plot. The influence of neighboring trees on the central trees was assessed and the most significant influencing parameters were determined.

It was revealed that the increase in volume gain 5–6 years after thinning reached 30–37%. The correlation coefficients of the considered equations of the relationship between the taxation indicators of the studied spruce trees from the spatial structure of the stand reached 0.67–0.72. The greatest influence is exerted by pine and birch trees, located in the first tier of the stand.

Key words: current growth, spatial structure, current growth, spatial structure, pine-spruce forest stand, regression analysis.

For citation: Sevko O. A. The influence of changes in the spatial structure on the growth of the second layer of spruce in a complex tree. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 28–35 (In Russian).

Введение. Механизм формирования деревьев того или иного вида в лесу протекает под воздействием соседей, которые оказывают друг на друга взаимное влияние, изменяя величину и форму кроны, высоту и форму стволов. При этом следует учитывать освещение, защиту от ветра и другие экологические факторы [1, 2].

Исследования динамики таксационных показателей смешанных древостоев приведены в различных литературных источниках как белорусских, так и зарубежных авторов [3, 4].

Естественное возобновления ели под пологом приспевающих и спелых насаждений было проанализировано в трудах К. В. Лабохи и Д. В. Шимана [5]. Исследования показали, что более успешное естественное возобновление ели наблюдается в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов и дубово-темнохвойных лесов, в которых обеспечение подростом спелых и приспевающих насаждений ели составляет 47,7 и 45,5%.

Условия, которые делают возможным наличие общественной жизни древесных растений, характеризуются прежде всего дифференцированием деревьев по классам доминирования. Потребность растений увеличивать площадь своей деятельности путем роста – неотъемлемая способность их к завоеванию пространства.

Развитие подпологовой ели в березняках черничных рассмотрено в работах В. Н. Коновалова и В. Л. Зарубиной [6]. Максимальная интенсивность роста у ели прослеживается в 8-летнем березняке. При увеличении возраста березы у подпологовой ели наблюдается дефицит солнечной энергии, что приводит к снижению ростовых процессов. Самый низкий показатель роста и развития ели отмечен в момент достижения березой возраста спелости. Для сохранения высокой жизнедеятельности ели в березняках необходимо своевременно осуществлять меры содействия путем проведения рубок ухода.

Эти же авторы выполнили исследование изменения биологических особенностей ели в березняках после проведения выборочных рубок. Выборочные рубки в березняках улучшают условия роста, а также фотосинтез подроста. Наиболее благоприятные условия для роста елового подроста в лиственных насаждениях складываются при полноте 0,5 [7].

Естественное и искусственное возобновление ели, только уже на площадях лесных культур, исследовалось в работах А. Г. Шахова, А. В. Грязькина и В. З. Нгуен [8]. Авторы сделали вывод, что молодое поколение естественного происхождения жизнеспособнее. В целом состояние самосева и культур ели намного лучше, чем сосны (как искусственного, так и естественного происхождения).

Исследование Д. Н. Торбик показало зависимость густоты подроста от месторасположения по отношению к волоку [9]. Для подроста ели связь между расстоянием от волока и густотой очень высокая. Также был выполнен анализ влияния рубок на таксационные показатели древостоя. Наблюдалось увеличение среднего диаметра и запаса древостоя на участках пасек, расположенных вдоль волоков (средний диаметр на 0,5–1,0 см, а запас на 15–25 $м^3$/га больше соответствующих показателей древостоя центральных частей пасек). С увеличением времени, прошедшего с момента рубки, различия таксационных характеристик древостоя на крайних и центральных участках пасек увеличиваются.

Как правило, конкурентные отношения и их влияние на характеристики древостоев могут оцениваться: а) без учета характеристик центрального дерева, но с выявлением оптимального радиуса влияния; б) с учетом характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния.

Однако В. А. Усольцев и М. М. Семышев совмещают различные подходы и определяют влияние нескольких показателей конкуренции на фитомассу и прирост ствола дерева с учетом его таксационных характеристик и с установлением оптимального радиуса влияния в чистых естественных и искусственных сосняках [10].

Влияние конкурентных отношений, связанных с размещением деревьев по площади, на биопродуктивность деревьев рассматривалось в работах С. Н. Сеннова [11]. Вклад конкуренции, или количественное выражение конкурентных отношений, предлагается определять с использованием индекса конкуренции (CI). Аналогичный подход прослеживается в работах В. В. Коцана [12, 13, 14] и О. А. Севко [15].

Основная часть. Для выявления влияния изменения пространственной структуры на прирост ели была заложена пробная площадь в сложном 65-летнем сосново-березовом древостое со вторым ярусом ели.

На пробной площади выполнялась подеревная таксация с проведением картирования расположения всех деревьев. Для каждого дерева методом линейных засечек с помощью ультразвукового дальномера определялись местоположение в системе условных координат, по два перпендикулярных диаметра, высота дерева, высота начала кроны, 4 радиуса кроны.

С помощью компонентов геоинформационной системы *Quantum-GIS* была сформирована цифровая карта пробной площади (рис. 1) с векторным и атрибутивным слоями.

Для выявления регрессионных уравнений связи показателей радиального прироста методом стратифицированной выборки было отобрано 28 стволов ели (что составило 20% от количества деревьев ели), у которых брались керны. Далее для каждого из выбранных центральных деревьев ели были определены деревья-соседи на расстоянии, равном радиусам

крон деревьев-соседей. Оценивалось также и влияние изменения пространственной структуры: влияние расстояния до пней, появившихся в результате рубки ухода (рис. 2).

Собранные керны сканировались и обрабатывались также с помощью *Quantum-GIS*: определялись размеры десяти последних годичных слоев (рис. 3).

Для оценки влияния пространственной структуры на таксационные показатели деревьев второго яруса ели сначала проводился регрессионный анализ влияния растущих деревьев-соседей на центральные деревья. В качестве зависимых показателей использовались диаметр (D), высота (H), радиус кроны (K) и радиальный прирост (Z_r) центральных деревьев.

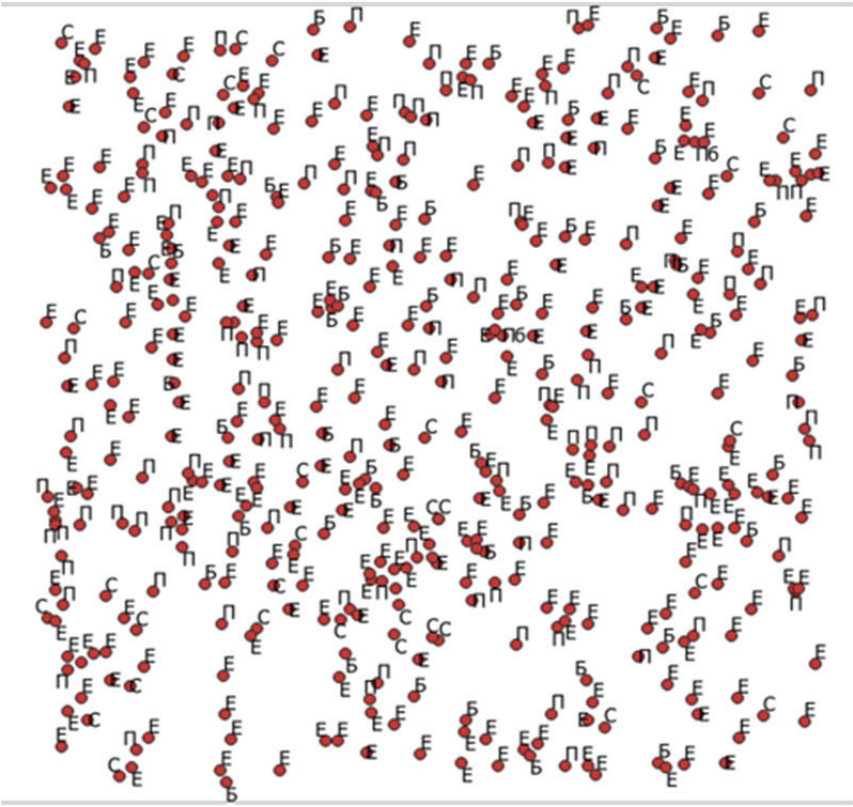


Рис. 1. Расположение деревьев на пробной площади

Рис. 2. Расположение деревьев-соседей

Рис. 3. Подготовленные к измерениям отсканированные керны в *Quantum-GIS*

В уравнениях связи учитывались средний радиус кроны деревьев-соседей, их средняя высота и средний диаметр, а также среднее расстояние между деревьями (L). Для деревьев-соседей каждой породы составлялись отдельные регрессионные уравнения.

Результаты регрессионного анализа показали практически отсутствие влияния деревьев второго яруса ели на таксационные показатели аналогичных центральных деревьев ели (коэффициент корреляции (R) от 0,33 до 0,47). Это объясняется достаточно большим расстоянием между данными деревьями и визуально большим влиянием первого яруса древостоя.

Гораздо теснее зависимость тех же таксационных характеристик с параметрами деревьев-соседей сосновой части, находящихся уже в первом ярусе (R от 0,48 до 0,72). Крупные кроны сосны, затеняющие деревья второго яруса, в полной мере объясняют данную корреляцию.

Достаточно весомое влияние деревьев-соседей березовой части древостоя (R от 0,41 до 0,63), что также объясняется нахождением березы в первом ярусе. Однако их количество гораздо меньше, расстояние гораздо больше, соответственно меньшее влияние на таксационные показатели центральных деревьев ели оказывается (табл. 1).

Далее оценивалась зависимость таксационных показателей центральных деревьев ели от находящихся рядом пней, которые образовались в результате рубки 6 лет назад. Если использовать в уравнениях таксационные показатели на данный момент и средний за 10 лет радиальный прирост, то значительной корреляции не наблюдается (R от 0,43 до 0,46) (табл. 2).

Для получения уточненных данных радиальный прирост изучался по годам за последние 10 лет. В результате было выявлено, что после рубки близстоящих деревьев прирост значительно увеличился.

Это доказывают проценты увеличения прироста по диаметру (~50%) и объему (~30%): после рубки с каждым годом идет постепенное увеличение прироста (табл. 3). Максимальный радиальный прирост составил 4,71 мм, минимальный – 0,24 мм (рис. 4).

Таблица 1

Регрессионные уравнения связи показателей ели от параметров деревьев-соседей

Деревья-соседи	Уравнения	Коэффициент корреляции R
Радиальный прирост Z_r		
Ель	$b_0 + b_1 \cdot (L^3 + K) + b_2 / H_1 + b_3 / D^3$	0,33
Сосна	$b_0 + b_1 / L + b_2 \cdot H^2 + b_3 \cdot D^2$	0,72
Береза	$b_0 + b_1 / L + b_2 \cdot H^3 + b_3 \cdot D^2$	0,51
Диаметр D		
Ель	$b_0 + b_1 \cdot (L + K^3) + b_2 \cdot H + b_3 / D^2$	0,40
Сосна	$b_0 + b_1 / L^3 + b_2 \cdot H^2 + b_3 / D^3 + b_4 / K$	0,48
Береза	$b_0 + b_1 / L + b_2 \cdot H^2 + b^3 \cdot D^3$	0,47
Высота H		
Ель	$b_0 + b_1 \cdot (L + K^3) + b_2 \cdot H_1^3 + b_3 / D_1^2$	0,35
Сосна	$b_0 + b_1 / L^3 + b_2 \cdot H^3 + b_3 / D^3 + b_4 / K$	0,57
Береза	$b_0 + b_1 / L + b_2 \cdot H_2 + b^3 \cdot D^3$	0,47
Радиус кроны K		
Ель	$b_0 + b_1 \cdot (L + K^3) + b_2 \cdot H^3 + b_3 / D^2$	0,47
Сосна	$b_0 + b_1 / L^3 + b_2 \cdot H^2 + b_3 / D^3 + b_4 / K^3$	0,67
Береза	$b_0 + b_1 / (L \cdot K) + b_2 / H^2 + b_3 / D^3$	0,63

Таблица 2

Регрессионные уравнения связи показателей ели от расстояния до пней

Показатель	Уравнения	Коэффициент корреляции R
Z_r	$b_0 + b_1 \cdot L + b_2 \cdot L^3$	0,46
D	$b_0 + b_1 / L + b_2 \cdot L^3$	0,43
H	$b^0 + b^1 / L + b^2 \cdot L^3$	0,46

Таблица 3

Показатели радиального прироста центральных деревьев ели

Номер годичного слоя	Номер дерева							
	17	246	318	138	242	236	15	324
1	0,40	0,55	1,62	0,89	0,79	0,24	0,37	1,34
2	0,24	0,73	1,22	0,74	0,99	0,34	0,50	1,27
3	0,34	1,42	1,14	0,60	0,99	0,36	0,55	1,17
4	0,53	1,32	1,12	0,62	1,29	0,73	0,41	0,92
5	0,99	1,74	0,97	0,77	0,97	0,92	0,46	1,10
6	0,60	1,81	1,44	0,87	1,54	1,19	0,75	1,22
7	0,84	1,41	2,83	1,54	1,22	1,18	0,58	2,55
8	1,14	2,26	2,63	1,74	–	0,91	0,73	2,31
9	1,17	1,49	3,03	1,34	–	1,17	0,78	2,73
10	1,04	1,39	4,71	1,49	–	1,60	1,41	1,78
Средний прирост до рубки, мм	0,38	1,00	1,21	0,71	0,93	0,31	0,46	1,16
Средний прирост после рубки, мм	0,96	1,68	2,93	1,29	1,24	1,10	0,85	2,12
Увеличение прироста, %	60,65	40,43	58,59	44,66	25,33	71,77	45,94	45,21

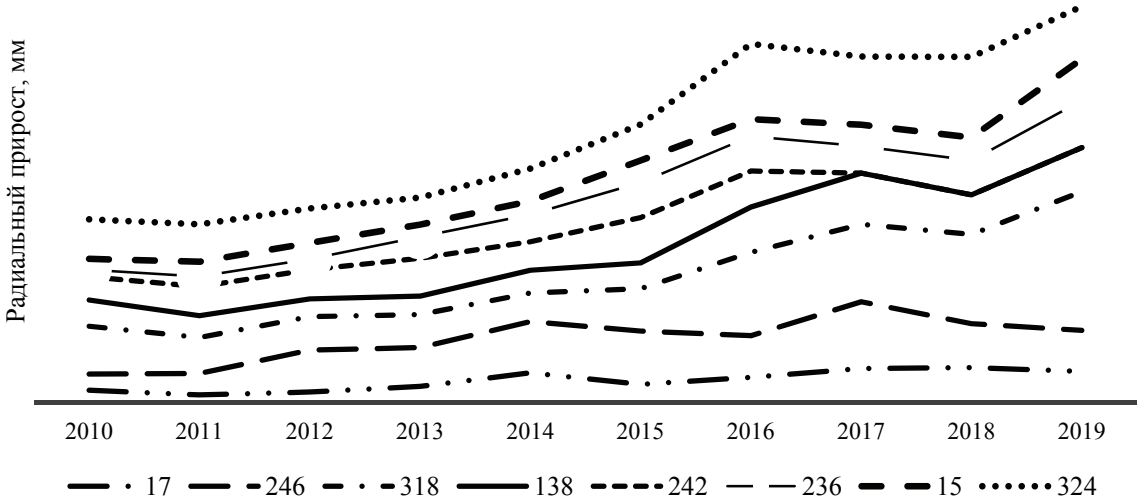


Рис. 4. Изменение радиального прироста

Далее на основании ширины годичного слоя рассчитывался прирост дерева по объему. Процент текущего прироста по объему определялся по формуле (способ Шнейдера):

$$P_V = \frac{K \cdot i}{D},$$

где K – коэффициент, зависящий от протяженности кроны и энергии роста в высоту;

i – ширина годичного слоя, мм;

D – диаметр без коры на высоте 1,3 м в настоящее время, см.

На основании процента прироста по объему находился абсолютный прирост по объему. Исследование показало, что прирост по объему после рубки увеличился примерно на 8–30%, что является очень большим показателем влияния (табл. 4).

Различия между приростами деревьев, находившихся под влиянием до рубки, и деревьев, не подверженных влиянию срубленных, оказались также значительными. У деревьев, находившихся под влиянием, после проведения рубки средний радиальный прирост увеличился по сравнению с приростом деревьев без влияния на 30–50% (рис. 5).

Исследование подтвердило влияние пространственной структуры древостоя и ее изменений на таксационные показатели деревьев ели, находящихся во втором ярусе сложно сосново-березового древостоя.

Таблица 4

Оценка увеличения прироста по объему центральных деревьев ели

№	Номер дерева на ПП	Прирост по объему до рубки, м^3	Прирост по объему после рубки, м^3	Процент прироста по объему до рубки, %	Процент прироста по объему после рубки, %	Процент увеличения прироста по объему,%
1	17	0,01	0,04	18,51	46,77	28,26
2	246	0,10	0,16	24,09	40,47	16,38
3	318	0,13	0,32	26,28	63,64	37,36
4	138	0,04	0,07	28,30	51,42	23,12
5	242	0,08	0,11	26,24	34,99	8,75
6	236	0,02	0,06	11,63	41,25	29,63
7	15	0,02	0,03	18,61	34,39	15,78
8	324	0,09	0,16	37,15	67,89	30,74

Рис. 5. Изменения радиального прироста после рубки

Заключение. Анализируя данные влияния показателей деревьев-соседей на таксационные показатели центральных деревьев ели, можно сделать вывод, что находящиеся во втором ярусе деревья ели оказывают слабое воздействие друг на друга. Значительно большая зависимость прослеживается от деревьев пород, произрастающих в первом ярусе. При этом весомое влияние оказывается на показатели радиального прироста и радиуса кроны. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что в сложном насаждении на второй ярус ели в большей степени воздействует влияние межвидовая конкуренция, чем внутривидовая.

Оценка влияния изменения пространственной структуры, а именно расстояния до вырубленных стволов (пней), показала, что корреляция таксационных показателей деревьев ели на настоящий момент и расстояний до пней невысокая. Но при детальном рассмотрении воздействия срубленных деревьев на близстоящие мы видим, что изменения радиального прироста и прироста по объему имеют очень большие показатели (30–50%). Даже коэффициент корреляции со средними расстояниями до пней составил 0,46.

Следовательно, оптимизация рубок ухода и возможность выявления оптимального расстояния между остающимися после рубок деревьями позволит максимизировать прирост древостоев.

Изучение влияния изменения пространственной структуры параллельно с оценкой межвидовых отношений в древостое позволяет выявить основные направления для дальнейшего изучения и правильно организовать постановку эксперимента в будущем по вопросу воздействия пространственной структуры на развитие смешанных и сложных древостоев.

Список литературы

1. Морозов Г. Ф. Учение о лесе. М.: Госиздательство сельскохозяйственной литературы. 1931. 456 с.

2. Балакир М. В. Распределение диаметров деревьев в еловых древостоях искусственного происхождения // Труды БГТУ. 2012. № 1: Лесное хоз-во. С. 30–32.

3. Взаимоотношения древесных пород в чистых и смешанных насаждениях / И. Н. Рахтеенко [и др.] // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах. 1976. 116 с.

4. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // Продуктивность лесных фитоценозов. 1984. С. 42–47.

5. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Особенности естественного возобновления под пологом приспевающих и спелых еловых насаждений на почвах недостаточного и умеренного увлажнения // Труды БГТУ. 2010. № 1: Лесное хоз-во. С. 72–75.

6. Коновалов В. Н., Зарубина Л. В. Оценка жизнеспособности ели в березняке черничном в процессе его возрастного развития // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 5 (353). С. 44–60.

7. Зарубина Л. В. Рост подпологового возобновления ели на вырубках березняка черничного // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 216. С. 58–68.

8. Шахов А. Г., Грязькин А. В., Нгуен В. З. Самовозобновление ели на площадях лесных культур // Международный научный журнал «Символ науки». № 4/2016. URL: https://cyberleninka.ru /article/n/ samovozobnovlenie-eli-na-ploschadyah-lesnyh-kultur (дата обращения: 11.03.2021).

9. Торбик Д. Н. Изменение экологических факторов в связи с рубками хода и их влияние на формирование насаждений. Архангельск: Поморский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 2010. 20 с.

10. Усольцев В. А., Семышев М. М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ. Екатеринбург: УрОРАН, 2007. 137 с.

11. Сеннов С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Известия С.-Петербургской лесотехнической академии. 1993. 172 с.

12. Коцан В. В. Взаимосвязи между таксационными показателями деревьев в кругах конкуренции на примере сосняков мшистых искусственного происхождения // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хоз-во. С. 19–22.

13. Коцан В. В. Классификация деревьев на основании пространственной структуры при назначении в рубки ухода // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 24–27.

14. Коцан В. В. Оценка влияния пространственной структуры на таксационные показатели древостоев с использованием цифровой модели пространственного распределения // Лесное хозяйство: тезисы докладов 76-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 13–20 февр. 2012 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О. А. Атрощенко (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2012. С. 13.

15. Севко О. А. Оценка зависимости текущего прироста сосновой части смешанных сосново-березовых древостоев от их пространственной структуры // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 41–45.

References

1. Morozov G. F. *Ucheniye o lese* [The doctrine of the forest]. Moscow, Gosizdatel’stvo sel’skokhozyaystvennoy literatury Publ., 1931. 456 p.

2. Balakir M. V. Distribution of tree diameters in spruce stands of artificial origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 1, Forestry, pp. 30–32 (In Russian).

3. Rakhteenko I. N., Martinovich B. S., Krot L. A. The relationship of tree species in clean and mixed stands. *Ekologo-fiziologicheckiye osnovy vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Ecological and Physiological Basis for the Interaction of Plants in Phytocenoses], 1976. 116 p. (In Russian).

4. Gribanov V. Ya. The spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost’ lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses], 1984, pp. 42–47 (In Russian).

5. Labokha K. V., Shiman D. V. Features of natural regeneration under the canopy of ripening and ripe spruce plantations on soils of insufficient and moderate moisture. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2010, no. 1, Forestry, pp. 72–75 (In Russian).

6. Konovalov V. N., Zarubina L. V. Evaluation of the viability of spruce in a blueberry birch forest in the process of its age development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational Institutions. Forest Journal], 2016, no. 5 (353), pp. 44–60 (In Russian).

7. Zarubina L. V. Growth of under-log renewal of spruce in felling areas of blueberry birch forest. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint-Petersburg Forestry Academy], 2016, no. 216, pp. 58–68 (In Russian).

8. Shakhov A. G., Gryazkin A. V., Nguyen V. Z. Self-renewal of spruce in areas of forest crops. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal "Simvol nauki"* [International scientific journal "Symbol of Science"], no. 4/2016. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/ samovozobnovlenie-eli-na-ploschadyah-lesnyh-kultur (accessed 11.03.2021).

9. Torbik D. N. *Izmeneniye ekologicheskikh faktorov v svyazi s rubkami i ikh vliyaniye na formirovaniye nasazhdeniy* [Changes in environmental factors in connection with logging and their influence on the formation of plantations]. Arkhangel'sk, Pomorskiy gosudarstvennyy universitet imeni M. V. Lomonosova Publ., 2010. 20 p.

10. Usoltsev V. A., Semyshev M. M. *Produktsionnyye kharakteristiki s uchetom konkurentsii derev'yev v iskusstvennykh i estestvennykh sosnyakakh: sravnitel'nyy analiz* [Productive characteristics taking into account the competition of trees in artificial and natural pine forests: a comparative analysis]. Ekaterinburg, UrORAN Publ., 2007. 137p.

11. Sennov S. N. Results of an experimental study of competition in stands. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 1993. 172 p. (In Russian).

12. Kotsan V. V. The relationship between taxation indicators of trees in the circles of competition on the example of mossy pine forests of artificial origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1, Forestry, pp. 19–22 (In Russian).

13. Kotsan V. V Classification of trees based on spatial structure when assigned to thinning. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1, Forestry, pp. 24–27 (In Russian).

14. Kotsan V. V. Assessment of the influence of spatial structure on taxation indicators of stands using a digital model of spatial distribution. *Tezisy dokladov 76-y nouch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov "Lesnoye khozyaystvo"* [Abstracts of the 76th scientifie and technical. conf. faculty, researchers and graduate students "Forestry"]. Minsk, 2012. P. 13 (In Russian).

15. Sevko O. A. Assessment of the dependence of the current growth of the pine part of mixed pine-birch stands on their spatial structure. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1, Forestry, pp. 41–45 (In Russian).

Информация об авторе

Севко Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: o.sevko@belstu.by

Information about theauthor

Sevko Oksana Aleksandrovna − PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.sevko@belstu.by

Поступила 15.03.2021

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE

УДК 630*23:630*915:630*181.32

Д. К. Гарбарук, А. В. Углянец, А. Н. Воронецкая
Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

ЛЕСООБРАЗОВАНИЕ В БЫВШИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПЛОДОРОДНЫХ ПОЧВАХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Через 34 года после эвакуации населения на 80–95% площади отселенных деревень, расположенных на плодородных почвах в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции, образовались смешанные густые лесные фитоценозы. В них произрастает 37 древесных и 31 кустарниковый вид. Прослеживается дендрологическое разнообразие сформировавшихся фитоценозов выше в деревнях, расположенных вблизи лесов.

В составе древостоев преобладают чужеродные вредоносные (клен ясенелистный, акация белая, тополь белый), местные лесные (береза повислая, вяз гладкий, клен остролистный, осина, ясень обыкновенный) и плодовые (слива домашняя, яблоня домашняя, груша обыкновенная) виды.

Подрост и подлесок характеризуются различным составом и густотой. Естественное возобновление местных твердолиственных пород варьирует от хорошего до плохого. Его ход лимитируется низкой освещенностью под пологом древостоев, плотным травяным покровом. В подлеске преобладает слива домашняя, но постепенно растет количество местных лесных пород и численность их популяций.

На прогалинах лесообразование протекает неудовлетворительно. Этот процесс сдерживается плотным травяным покровом, сильным задернением почвы, недостатком семенного материала.

В перспективе в отселенных деревнях ожидается расширение насаждений тополя белого, вытеснение древостоев плодовых пород и частичная смена древостоев клена ясенелистного и акации белой местными теневыносливыми видами.

Ключевые слова: зона отчуждения, бывший населенный пункт, плодородная почва, лесообразование, древостой, подрост, подлесок.

Для цитирования: Гарбарук Д. К., Углянец А. В., Воронецкая А. Н. Лесообразование в бывших населенных пунктах, расположенных на плодородных почвах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 36–50.

D. K. Garbaruk, A. V. Uglyanets, A. N. Voronetskaya
Polesye State Radiation-Ecological Reserve

FOREST FORMATION IN FORMER LOCALITIES LOCATED ON FERTILE SOILS IN THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT EXCLUSION ZONE

34 years after the evacuation of the population, mixed dense forest phytocenoses formed on 80–95% of the area of resettled villages located on fertilesoils in the Belarusian sector of the exclusion zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant. There are 37 tree and 31 shrub species growing in them. The dendrological diversity of the formed phytocenoses is higher in villages located near forests.

The forest stands are dominated by alien harmful (ash-leaved maple, white acacia, white poplar), local forest (silver birch, European white elm, Norway maple, aspen, European ash) and fruit (garden plum, domesticated apple, common pear) species.

Undergrowth and understory are characterized by different composition and density. The natural regeneration of local hardwoods species ranges from good to unsatisfactory. Its course is limited by low illumination under the canopy of forest stands, dense grass cover. Garden plum predominates in the understory, but the number of local forest species and the number of their populations are gradually increasing.

Forest formation on glades is unsatisfactory. This process is restrained by dense grass cover, strong turf and not enough of seed material.

In the future, in the resettled villages, it is expected to expand the stands of white poplar, displacement of stands of fruit species and partial replacement of stands of ash-leaved maple and white acacia by local shade-tolerant species.

Key words: Exclusion Zone, former locality, fertile soils, forest formation, forest stand, undergrowth, understory.

For citation: Garbaruk D. K., Uglyanets A. V., Voronetskaya A. N. Forest formation in former localities located on fertile soils in the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 36–50 (In Russian).

Введение. После аварии на Чернобыльской атомной электростанции (далее – ЧАЭС), произошедшей в апреле 1986 г., на окружающей ее территории, сильно загрязненной радионуклидами, была установлена зона эвакуации, или отчуждения (далее – ЗО). В белорусском секторе ЗО ЧАЭС в 1986–1993 гг. было отселено 24,5 тыс. человек из 95 деревень [1]. Прекращение антропогенной деятельности в бывших населенных пунктах (далее – б. н. п.) дало толчок лесообразовательным процессам [2]. Однако за первые 20–25 лет сомкнутые лесные фитоценозы в них не были образованы [1, 3]. Но уже через 34 года после аварии на ЧАЭС все покинутые деревни, расположенные на супесчано-суглинистых почвах, покрылись сомкнутыми лесными насаждениями. Изучение процесса формирования лесных насаждений в б. н. п. ЗО ЧАЭС на основе преобладавшей в них антропофитной дендрофлоры, включающей чужеродные вредоносные древесные виды, весьма актуально.

Основная часть. Ход лесообразования изучали в 2020 г. в «полевых» б. н. п. Воротец и Вязок, расположенных на севере ЗО ЧАЭС, где распространены лесовидные отложения юго-восточного склона краевых ледниковых образований Хойникской водно-ледниковой равнины, и в «лесном» б. н. п. Дуброва, находящемся на юго-западе ЗО ЧАЭС, где встречаются вкрапления моренных участков водно-ледниковых равнин Житомирского Полесья [4, 5].

Согласно источнику [6], весь б. н. п. Дуброва, большая часть б. н. п. Вязок и третья часть б. н. п. Воротец расположены на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных на связных песках, подстилаемых моренными суглинками почвах, а также на оглеенных внизу или глееватых песчаных и супесчаных на песках и рыхлых супесях, подстилаемых песками почвах. В б. н. п. Дуброва изредка встречаются дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные иллювиально-гумусовые песчаные и супесчаные почвы на рыхлых породах. Третью часть территории б. н. п. Вязок занимают дерново-карбонатные выщелоченные временно избыточно увлажненные или глееватые связносупесчаные, подстилаемые песками почвы. Б. н. п. Воротец расположен преимущественно на дерновых глееватых песчаных на связных и рыхлых песках, сменяемых с глубины до 1 м моренными суглинками либо рыхлыми песками почвах.

Известно, что чем выше количество физической глины в почве и чем ближе к поверхности почвы залегают богатые глинистыми частицами почвенные горизонты, тем она плодороднее и производительнее [7]. В отселенных деревнях высоким естественным плодородием характеризуются дерновые и дерново-карбонатные временно избыточно увлажненные, а также дерново-подзолистые подстилаемые суглинками почвы [6].

В 20 сомкнутых насаждениях с преобладанием 11 древесных пород, образовавшихся на усадьбах уличного типа (включавших жилую застройку и садово-огородные участки), возле общественных зданий (школы, магазины и другие), а также на трех необлесившихся участках (прогалинах) заложили временные пробные площади (далее – ВПП) в соответствии с [8, 9]. На ВПП определяли гранулометрический состав почвенных генетических горизонтов полевыми методами [10], измеряли мощность гумусовых горизонтов. По местоположению, плодородию почв и индикаторной растительности устанавливали тип лесорастительных условий (далее – ТЛУ) по [11].

На ВПП почвы в основном дерново-подзолистые, реже дерновые и дерново-карбонатные глееватые, песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинками моренными с глубины 0,4–0,9 м, ниже песками связными. Из них 40% являются временно избыточно увлажненными. Характеристика почв и преобладание ТЛУ $Д_2$ и $Д_{2-3}$ (табл. 1) указывают на богатые почвы с высоким содержанием физической глины [7]. Высокое их плодородие, помимо естественного, обеспечено также благоприятными агрохимическими показателями [6], длительным использованием под огородами и садами при регулярном внесении органических удобрений, мощными гумусовыми горизонтами (21–52 см). Очевидно, что все почвы на ВПП обладают достаточно высоким лесорастительным потенциалом.

Таблица 1

Краткая характеристика почв на ВПП

ВПП	Почва / мощность гумусового горизонта, см	ТЛУ
б. н. п. Воротец		
Вр1	Дерново-подзолистая связносупесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком легким, моренным с глубины 0,8 м, ниже песком связным с прослойками суглинка легкого с глубины 0,9 м / 39	$Д_2$
Вр2	Дерновая глееватая связносупесчаная, на супеси рыхлой, сменяемой суглинком легким, моренным с глубины 0,4 м, подстилаемым супесью с глубины 0,5 м и ниже песком связным с глубины 0,9 м / 33	$Д_{2-3}$
Вр3	Дерново-подзолистая связносупесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком легким, моренным с глубины 0,6 м и ниже песком связным с глубины 0,8 м / 52	$Д_2$
Вр4	Дерново-подзолистая связнопесчаная, на песке рыхлом, сменяемым супесью, подстилаемой суглинком легким, моренным с глубины 0,7 м и ниже песком связным с глубины 1,1 м / 39	$Д_2$
Вр5, 6	Дерново-подзолистая связносупесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком легким, моренным с глубины 0,9 м и ниже песком связным с глубины 1 м / 37	$Д_2$
Вр7	Дерновая глееватая связнопесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком легким, моренным с глубины 0,6 м и ниже песком связным с глубины 1,3 м / 44	$Д_{2-3}$
Вр8	Дерновая глееватая связносупесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком легким, моренным с глубины 0,3 м и ниже супесью связной с глубины 1 м / 22	$Д_{2-3}$
б. н. п. Вязок		
Вз1	Дерново-карбонатная глееватая связносупесчаная, на супеси рыхлой, сменяемой суглинком средним с глубины 0,5 м, подстилаемым супесью рыхлой с глубины 0,7 м и ниже песком связным с глубины 1,2 м / 33	$Д_{2-3}$
Вз2	Дерново-подзолистая связнопесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком средним, моренным с глубины 0,7 м и ниже супесью связной с глубины 0,8 м / 38	$Д_2$
Вз3, 4, 6	Дерново-подзолистая связнопесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком тяжелым, моренным с глубины 0,5 м и ниже супесью с глубины с глубины 1,1 м / 29	$Д_2$
Вз5, 7	Дерново-подзолистая связнопесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком легким, моренным с глубины 0,4 м, сменяемым супесью рыхлой с глубины 0,7 м и ниже песком связным с глубины 1,1 м / 23	$Д_2$
Вз8	Дерново-подзолистая связнопесчаная, на супеси рыхлой, сменяемой суглинком средним с глубины 0,5 м, подстилаемым супесью связной с глубины 0,9 м и ниже песком связным с глубины 1,4 м/ 28	$Д_2$
б. н. п. Дуброва		
Дб1	Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым с глубины 0,6 м (уровень грунтовых вод на 09.2020 г. 2,1 м) / 23	$В_{2-3}$
Дб2–6	Дерново-подзолистая связнопесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемой суглинком средним, моренным с глубины 0,5 м и ниже супесью связной с глубины 1 м / 21	$Д_2$
Дб7	Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная рыхлопесчаная, на супеси связной, подстилаемой суглинком средним, моренным с глубины 0,4 м / 25	$Д_{2-3}$

Перечет деревьев на ВПП производили по 2-сантиметровым ступеням толщины попородно с определением высоты каждого дерева высотомером или рулеткой.

Таксационные показатели древостоев рассчитывали в соответствии с источниками [12–14].

Запасы стволовой древесины акации белой, вяза гладкого, каштана конского обыкновенного, кленов остролистного и ясенелистного, ясеня обыкновенного, плодовых пород устанавливали по дубу, а тополя белого и ивы белой – по осине. Таксационная характеристика насаждений на ВПП приведена в табл. 2.

На ВПП производили сплошной учет подроста с молодняком и подлеска согласно источникам [8, 9, 15]. Успешность возобновления леса под пологом образовавшихся насаждений устанавливали по шкале оценки естественного возобновления твердолиственных пород [15], на прогалинах – по источнику [16].

Источниками для лесообразования являлись произраставшие в б. н. п. плодоносившие и способные размножаться вегетативно экземпляры древесных и кустарниковых видов [1, 3]. Дополнительный семенной материал поступал с прилегающих лесов, от одиночных деревьев и их групп с сопредельных безлесных территорий.

Появлению, росту и развитию возобновления деревьев и кустарников в б. н. п. первоначально способствовали обработанная почва приусадебных участков, притенение всходов древесно-кустарниковой растительностью и строениями. В этих условиях происходило значительное сглаживание негативного влияния на молодое поколение леса периодических засух, характерных для региона ЗО ЧАЭС. Тем не менее первые 15–20 лет лесообразование в б. н. п. протекало медленно. В древостоях преобладали 8 аборигенных лесных, 2 интродуцированные и 4 плодовые породы [1, 3].

Таблица 2

Таксационная характеристика лесных насаждений в бывших населенных пунктах

Шифр ВПП	ТУМ	Состав древостоя	Преобладающая порода				Древостой			
			возраст, лет	средние		бонитет	густота, шт./га	сумма площадей сечений, $м^2$/га	полнота	запас, $м^3$/га
				H, м	*D*, см					
Вр8	$Д_{2-3}$	10Кля	28	13,9	21,0	Ia,1	780	26,90	1,06	212
Вз1	$Д_{2-3}$	10Кля + В, Ос	30	17,4	17,9	>Ia	1145	28,59	0,99	227
Дб5	$Д_2$	9Кля1Гш	30	13,7	18,0	Ia,5	1575	35,84	1,43	276
Вр3	$Д_2$	10Аб + Кш, Сл	25	18,0	21,4	>Ia	925	32,03	1,10	302
Вр6	$Д_2$	10Аб + Тб	20	12,0	8,9	>Ia	3225	20,10	0,88	141
Вз4	$Д_2$	9Аб1Кло + В	30	16,5	13,8	>Ia	1925	26,21	0,94	153
Вз3	$Д_2$	6Кло3Яб1Кля + В	20	12,4	11,3	>Ia	2000	22,96	1,25	160
Дб2	$Д_2$	5Кло3Ос1Д1Я + Кля, Б, Ивб	25	14,8	12,2	>Ia	1825	30,56	1,19	254
Вз2	$Д_2$	6В2Ос1Кля1Аб + Б	20	13,0	10,3	>Ia	2650	28,75	1,22	163
Дб6	$Д_2$	7Я3Сл	20	16,8	21,1	>Ia	2600	33,48	1,19	261
Вр2	$Д_{2-3}$	10Ос + Кля	20	20,0	17,2	>Ia	1525	33,95	1,09	324
Вз5	$Д_2$	10Ос + Кля	17	16,7	13,8	>Ia	2350	47,83	1,70	394
Дб3	$Д_2$	6Б4Ос + Д, Кло, Кля, Ивб	20	20,6	19,6	>Ia	900	32,72	1,25	343
Вр5	$Д_2$	10Тб	25	18,7	21,0	>Ia	1120	38,89	1,30	407
Вр4	$Д_2$	9Сл1Яб + Гш	25	7,4	11,9	II,7	1780	21,30	1,26	121
Вз7	$Д_2$	7Сл2Кло1Кля	28	7,0	10,0	III,6	2550	20,61	1,27	89
Дб1	$В_{2-3}$	8Сл1Гш1Яб	20	7,7	7,2	I,4	4850	22,45	1,30	131
Вр1	$Д_2$	8Яб2Гш + Сл	45	8,0	30,0	Va	360	20,40	0,95	207
Вз6	$Д_2$	8Яб2Кло + Сл	40	9,4	30,0	III,6	967	27,36	1,39	196
Дб4	$Д_2$	5Гш2Яб2Кло1Я	40	13,9	26,4	I,6	1000	34,39	1,36	315
Вр7	$Д_{2-3}$	7Гш3Яб + Сл	30	7,4	15,5	III,4	252	4,79	0,18	42
Вз8	$Д_2$	8Кля2Гш	15	8,3	10,3	Ia,0	244	2,05	0,11	12
Дб7	$Д_{2-3}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–

За этот период в б. н. п. украинской части ЗО ЧАЭС на 95% площади приусадебных участков сформировались сомкнутые лесные фитоценозы из бывших посадок декоративных и плодовых древесно-кустарниковых видов и появившегося возобновления кленов остролистного, ясенелистного и явора, березы, ясеня, ильма, липы [17].

В 2020 г. в б. н. п. на почвах с высоким содержанием физической глины в подстилаемых горизонтах в белорусском секторе ЗО ЧАЭС до 80–95% площади усадеб и участков возле бывших общественных зданий покрылось сомкнутыми лесными насаждениями с территориально непрерывно варьирующим составом древостоев.

В образовавшихся лесных насаждениях преобладают 5 местных (береза повислая, вяз гладкий, клен остролистный, осина и ясень обыкновенный), 3 интродуцированные (акация белая, клен ясенелистный и тополь белый) и 3 плодовые (слива домашняя, яблоня домашняя и груша обыкновенная) древесные породы.

Насаждения клена ясенелистного благодаря биологическим особенностям вида и высокой его агрессивности в условиях Беларуси [18] занимают 75–80% площади усадеб в б. н. п. Вязок, более 60% – в б. н. п. Воротец и более 50% – в б. н. п. Дуброва. *Древостои* его чистые или с небольшой примесью местных лесных и плодовых пород, разновозрастные, густотой 780–1575 шт./га. В 28–30-летнем возрасте в них было накоплено 212–276 $м^3$/га стволовой древесины (табл. 2). Средний ее прирост составлял 7,6–9,2 $м^3$/га в год. Деревья интродуцента в основном кривоствольные, нередко растут наклонно, наклон с возрастом увеличивается. В отдельных насаждениях просматривается начало процесса деградации древостоев, что ведет к появлению просветов в древесном пологе насаждений.

Подрост единичный или средней густоты (0,3–2,3 тыс. шт./га), молодой (2–5 лет), средневысотный. В его составе встречается от 4 до 7 (всего 10) древесных видов. Чаще преобладает клен ясенелистный (44–48%), иногда – осина (44%). Из местных широколиственных видов встречаются вяз гладкий (до 28% от общего количества подроста), клен остролистный (до 20%), ясень обыкновенный (до 24%), дуб черешчатый (единично). Отметим единичное присутствие в составе подроста таких видов, как орех грецкий и конский каштан обыкновенный (табл. 3). Предварительное естественное возобновление твердолиственных пород под пологом насаждений клена ясенелистного плохое.

Таблица 3

Характеристика подроста и подлеска в насаждениях клена ясенелистного

Порода	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %
Шифр ВПП	Вр8			Вз1			Дб5		
Подрост									
Вяз гладкий	3/54	50	15,9	4/62	645	28,4	–	–	–
Дуб черешчатый	–	–	–	2/14	18	0,8	2/19	100	16,0
Конский каштан обыкновенный	5/65	7	2,2	–	–	–	–	–	–
Клен остролистный	3/74	64	20,4	4/43	45	2,0	3/15	100	16,0
Клен ясенелистный	5/101	150	47,9	2/38	564	24,8	3/165	275	44,0
Липа мелколистная	4/72	7	2,2	–	–	–	–	–	–
Орех грецкий	3/37	7	2,2	–	–	–	–	–	–
Осина	–	–	–	3/56	1000	44,0	–	–	–
Черемуха обыкновенная	3/44	29	9,2	–	–	–	–	–	–
Ясень обыкновенный	–	–	–	–	–	–	4/72	150	24,0
Среднезвешенное, или итого	4/80	314	100,0	3/53	2272	100,0	3/95	625	100,0
Подлесок									
Бересклет европейский	3/84	579	58,8	–	–	–	3/49	425	15,5
Боярышник однопестичный	–	–	–	2/31	9	1,8	–	–	–
Жостер слабительный	3/74	7	0,7	–	–	–	–	–	–
Калина обыкновенная	2/44	64	6,5	3/48	164	32,8	–	–	–
Лещина обыкновенная	5/121	321	32,6	4/61	182	36,4	2/29	25	0,9
Крушина ломкая	–	–	–	–	–	–	2/28	25	0,9
Крыжовник обыкновенный	–	–	–	–	–	–	3/201	25	0,9
Смородина красная	–	–	–	3/39	91	18,2	–	–	–
Смородина черная	3/48	7	0,7	–	–	–	–	–	–
Слива домашняя	–	–	–	2/32	9	1,8	2/48	2250	81,8
Слива растопыренная (алыча)	3/89	7	0,7	–	–	–	–	–	–
Роза sp.	–	–	–	3/55	45	9,0	–	–	–
Среднезвешенное, или итого	4/93	986	100,0	3/51	500	100,0	3/173	2750	100,0

Подлесок в насаждениях клена ясенелистного молодой (2–5 лет), редкий или средней густоты (0,5–2,8 тыс. шт./га). В его составе встречается 12 древесных видов или по 5–6 видов в отдельных насаждениях. Количественно в составе подлеска преобладают слива домашняя, бересклет европейский, лещина обыкновенная (табл. 3).

Насаждения акации белой в исследованных б. н. п. встречаются нечасто, небольшими участками на месте бывших озеленительных посадок или рядом с ними. Крайне редко этот вид распространяется на открытые участки. Она чаще внедряется под полог других пород.

Древостои акации белой высокобонитетные, довольно густые, характеризуются небольшим присутствием примеси местных, интродуцированных и плодовых древесных пород (табл. 2). Деревья в них, как правило, разновозрастные и разновысотные. Это обусловлено постоянным пополнением древостоя растениями подроста [19]. Запасы стволовой древесины в 20–30 лет составляли 141–302 м^3/га, среднее их изменение – 5,1–12,1 м^3/га в год.

Густота *подроста* в белоакациевых насаждениях варьирует в пределах 0,4–9,5 тыс. шт./га. В его составе выявлено 9 видов, по 3–5 в отдельных фитоценозах. В долевом отношении преобладает возобновление акации белой (79–97%) и клена остролистного (82%) (табл. 4). Присутствие значительного количества подроста клена остролистного (7,8 тыс. шт./га) на ВПП Вз4 обусловлено близостью его плодоносящих деревьев, что обеспечило хорошую оценку предварительного возобновления твердолиственных пород. В остальных насаждениях оно плохое.

Подлесок под пологом древостоев акации белой единичный (представлен сливой домашней и бересклетом европейским) или отсутствует (табл. 4).

Насаждения местных широколиственных пород встречаются единично на небольших площадях.

Таблица 4

Характеристика подроста и подлеска в насаждениях акации белой

Порода	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %
Шифр ВПП	Вр3			Вр6			Вз4		
Подрост									
Акация белая	9/294	275	78,6	4/178	2675	97,3	7/161	1000	10,6
Вяз гладкий	–	–	–	–	–	–	7/313	375	4,0
Груша обыкновенная	–	–	–	9/142	25	0,9	–	–	–
Клен остролистный	–	–	–	–	–	–	4/87	7775	82,0
Клен ясенелистный	–	–	–	–	–	–	2/67	300	3,1
Конский каштан обыкновенный	18/387	50	14,3	–	–	–	–	–	–
Черемуха обыкновенная	–	–	–	8/184	25	0,9	–	–	–
Яблоня домашняя	18/318	25	7,1	–	–	–	–	–	–
Ясень обыкновенный	–	–	–	5/199	25	0,9	7/30	25	0,3
Средневзвешенное, или итого	11/309	350	100,0	4/178	2750	100,0	4/135	9475	100,0
Подлесок									
Бересклет европейский	10/161	25	33,3	6/120	325	100,0	–	–	–
Слива домашняя	8/185	50	66,7	–	–	–	–	–	–
Средневзвешенное, или итого	9/177	75	100,0	6/120	325	100,0	–	–	–

Древостои клена остролистного образовались на выгоревших подворьях вблизи семенных деревьев и характеризуются высокими показателями роста, густоты, продуктивности при невысокой (50–60%) доле клена в составе. В 20 и 25 лет стволовые запасы в них составляли 160 и 254 м^3/га (табл. 2), средние их изменения – 8,0 и 10,2 м^3/га в год.

Подрост под пологом насаждений клена остролистного за счет отставших в росте растений клена этого вида и подчиненных растений клена ясенелистного в основном крупный и средневысотный, состоит из 6 и 7 пород (всего 11), средней густоты (4,3 тыс. шт./га) и очень густой (14,4 тыс. шт./га). В составе преобладают клен ясенелистный (57%) или ясень обыкновенный (73%) при существенной доле клена остролистного – 24 и 36% (табл. 5). Ход естественного возобновления ценных твердолиственных пород удовлетворительный.

Подлесок в одном насаждении клена остролистного отсутствует, во втором представлен 6 породами. Он редкий, с преобладанием сливы домашней и бересклета европейского (табл. 5).

Древостой вяза гладкого сформировался в б. н. п. Вязок на выгоревших подворьях и характеризуется достаточно быстрым ростом, высокими показателями густоты и стволового запаса. На примесь из четырех пород приходится 40% состава (табл. 2).

Подрост в насаждении вяза гладкого (табл. 5) редкий (1,7 тыс. шт./га) и состоит из 6 пород. В составе преобладают клен ясенелистный (39%) и вяз гладкий (31%) при существенной доле осины (17%), акации белой (11%) и единичном присутствии дуба черешчатого. Естественное возобновление оценивается как плохое. *Подлесок* единичный, состоит из 6 видов.

Древостой ясеня обыкновенного образовался в «лесном» б. н. п. в насаждении сливы домашней, которая на момент исследований в значительном количестве присутствовала в его составе (табл. 2). Он характеризуется высокими густотой, полнотой, стволовым запасом древесины, средний годовой прирост которой составил 13 м^3/га в год.

Подрост под пологом ясеня обыкновенного (табл. 5) представлен 3 видами общей густотой 4,7 тыс. шт./га. В составе доминирует клен ясенелистный (51%) при значительной доле ясеня обыкновенного (40%) и существенном присутствии дуба черешчатого (9%). Оценка возобновления хозяйственно ценных аборигенных пород неудовлетворительная.

Подлесок в ясеннике густой (7 тыс. шт./га), состоит из 5 пород. В его составе преобладает слива домашняя (46%), много сирени обыкновенной (29%), активно расселяется бересклет европейский (16%).

Насаждения мелколиственных пород в исследованных б. н. п. редки, площади их небольшие. В бывших «полевых» деревнях формируются в основном осинники и насаждения тополя белого, в «лесной» деревне – смешанные насаждения с преобладанием березы повислой (табл. 2).

Таблица 5

Характеристика подроста и подлеска в насаждениях местных широколиственных пород

Порода	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %
Подрост												
Шифр ВПП	Вз3 (клен остролист.)			Дб2 (клен остролист.)			Вз2 (вяз гладкий)			Дб6 (ясень обыкн.)		
Акация белая	3/111	240	5,6	4/158	125	0,9	3/92	183	11,0	–	–	–
Береза повислая	–	–	–	25/700	25	0,2	–	–	–	–	–	–
Береза пушистая	–	–	–	8/99	25	0,2	–	–	–	–	–	–
Вяз гладкий	1/16	20	0,5	–	–	–	6/255	517	31,0	–	–	–
Дуб черешчатый	–	–	–	–	–	–	1/13	17	1,0	6/81	400	8,5
Клен остролистный	4/271	1520	35,7	8/179	3500	24,4	–	–	–	–	–	–
Клен ясенелистный	4/201	2420	56,8	6/129	150	1,0	3/27	650	39,0	6/169	2400	51,1
Конский каштан обыкновенный	5/104	40	0,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Осина	–	–	–	2/34	75	0,5	4/147	283	17,0	–	–	–
Яблоня домашняя	–	–	–	–	–	–	5/37	17	1,0	–	–	–
Ясень обыкновенный	7/131	20	0,5	6/41	10 450	72,8	–	–	–	4/49	1900	40,4
Средневзвешенное, или итого	4/219	4260	100,0	6/78	14 350	100,0	4/125	1667	100,0	5/113	4700	100,0
Подлесок												
Бересклет европейский	–	–	–	3/37	475	31,1	4/148	17	6,3	3/114	1100	15,7
Боярышник однопестичный	–	–	–	–	–	–	8/199	17	6,3	–	–	–
Калина обыкновенная	–	–	–	–	–	–	3/24	150	56,1	–	–	–
Крушина ломкая	–	–	–	13/360	25	1,6	–	–	–	–	–	–
Крыжовник обыкновенный	–	–	–	2/33	200	13,2	–	–	–	3/93	400	5,7
Лещина обыкновенная	–	–	–	3/33	75	4,9	–	–	–	–	–	–
Слива домашняя	–	–	–	5/102	600	39,3	–	–	–	6/138	3200	45,7
Слива растопыренная	–	–	–	–	–	–	8/234	17	6,3	–	–	–
Смородина красная	–	–	–	–	–	–	3/35	50	18,7	–	–	–
Сирень обыкновенная	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4/97	2000	28,6
Роза sp.	–	–	–	2/39	150	9,9	2/12	17	6,3	2/396	300	4,3
Средневзвешенное, или итого	–	–	–	4/67	1525	100,0	4/58	268	100,0	5/131	7000	100,0

Древостои мелколиственных пород быстрорастущие, густые, высокополнотные, высокопродуктивные. Средний годовой прирост древесины варьирует в пределах 16,2–23,2 м^3/га в год. Клен ясенелистный в них находится в подчиненном ярусе.

Подрост под пологом насаждений мелколиственных пород (табл. 6) разновозрастный (2–11 лет), разновысотный, от средней густоты (3,5–6,4 тыс. шт./га) до очень густого (14,8–25,9 тыс. шт./га). В его составе встречается 16 пород, по 5–10 в отдельных насаждениях. В «полевых» б. н. п. в подросте осинников преобладает клен ясенелистный (83% и 85%), в тополевнике – акация белая (36%) и липа мелколистная (27%), в «лесном» б. н. п. в березняке наибольшее распространение получили ясень обыкновенный (49%) и клен остролистный (45%). В березняке возобновление местных широколиственных пород общей густотой 25 тыс.шт./га хорошее, в осинниках и тополевнике – плохое.

Подлесок (табл. 6) в мелколиственных насаждениях в «полевых» б. н. п. чаще средневысотный и крупный, но редкий (0,8–1,1 тыс. шт./га) и относительно бедный (1, 3 и 8 пород в насаждении). В его составе по числу растений доминирует бересклет европейский (36–100%). В «лесном» б. н. п. подлесок средней густоты (3,0 тыс. шт./га), разновозрастный, богатый (13 пород), с преобладанием сливы домашней (36%) при содоминировании бересклета европейского (16%).

Таблица 6

Характеристика подроста и подлеска в мелколиственных насаждениях

Порода	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %
Подрост												
Шифр ВПП	Вр2 (осина)			Вз5 (осина)			Дб3 (береза)			Вр5 (тополь белый)		
Акация белая	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5/190	1240	35,8
Береза пушистая	–	–	–	–	–	–	4/151	100	0,4	–	–	–
Вишня обыкновенная	8/189	300	2,0	–	–	–	–	–	–	9/189	360	10,4
Вяз гладкий	–	–	–	4/89	50	0,8	–	–	–	–	–	–
Груша обыкновенная	11/203	75	0,5	–	–	–	5/90	100	0,4	6/226	20	0,6
Дуб черешчатый	–	–	–	–	–	–	4/69	640	2,5	–	–	–
Конский каштан обыкновенный	4/40	25	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Клен остролистный	4/52	100	0,7	2/25	800	12,5	7/89	11700	45,1	9/208	80	2,3
Клен ясенелистный	4/125	12350	83,3	3/44	5450	85,1	10/89	80	0,3	8/216	160	4,6
Липа мелколистная	9/160	150	1,0	5/116	50	0,8	–	–	–	7/178	920	26,6
Орех грецкий	5/100	50	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Осина	6/458	1350	9,1	–	–	–	5/117	540	2,1	–	–	–
Тополь белый	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7/428	240	6,9
Черемуха обыкновенная	5/112	425	2,9	–	–	–	–	–	–	6/172	380	11,0
Ясень обыкновенный	–	–	–	11/168	50	0,8	6/59	12600	48,6	6/93	40	1,2
Яблоня домашняя	–	–	–	–	–	–	3/45	160	0,6	4/52	20	0,6
Средневзвешенное, или итого	4/156	14825	100,0	3/43	6400	100,0	6/74	25920	100,0	7/201	3460	100,0
Подлесок												
Айвочка японская	–	–	–	–	–	–	3/36	20	0,7	–	–	–
Барбарис обыкновенный	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5/124	40	3,6
Бересклет европейский	4/74	450	56,3	3/34	900	100,0	3/51	500	16,4	4/61	400	36,4
Бузина черная	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12/370	20	1,8
Ива козья	–	–	–	–	–	–	4/225	80	2,6	–	–	–
Ива серая	–	–	–	–	–	–	4/160	240	7,9	–	–	–
Ива ушастая	–	–	–	–	–	–	4/179	80	2,6	–	–	–
Ирга колосистая	–	–	–	–	–	–	4/112	20	0,7	7/114	100	9,1
Калина обыкновенная	2/55	125	15,6	–	–	–	2/43	100	3,3	–	–	–
Крушина ломкая	10/184	225	28,1	–	–	–	3/80	300	9,9	–	–	–
Крыжовник обыкновенный	–	–	–	–	–	–	3/44	100	3,3	5/77	40	3,6
Лещина обыкновенная	–	–	–	–	–	–	3/47	80	2,6	5/127	220	20,1
Слива домашняя	–	–	–	–	–	–	4/127	1080	35,5	18/234	20	1,8
Смородина красная	–	–	–	–	–	–	2/32	20	0,7	–	–	–
Роза sp.	–	–	–	–	–	–	2/59	420	13,8	5/80	260	23,6
Средневзвешенное, или итого	5/102	800	100,0	3/34	900	100,0	3/98	3040	100,0	5/95	1100	100,0

Насаждения плодовых пород. *Слива домашняя* относится к подлесочным породам [8].

В б. н. п. слива домашняя сформировала устойчивые во времени сомкнутые фитоценозы лесного типа на значительных площадях, которые представляют интерес в изучении хода лесообразовательных процессов.

В б. н. п. Воротец, Вязок и Дуброва насаждения сливы домашней были вытеснены другими породами. Сохранившиеся ее *древостои* разновозрастные, низкорослые, сильно дифференцированные по высоте и диаметру, густые. В их составе встречаются деревья груши и яблони дочернобыльского происхождения,

а также возобновившиеся после аварии на ЧАЭС клены остролистный и ясенелистный (табл. 2).

Подрост под пологом сливовых насаждений (табл. 7) редкий или средней густоты (0,2–2,9 тыс. шт./га), бедный (по 2–3 вида в насаждении), мелкий или средневысотный, с преобладанием в составе клена ясенелистного (74–92%) или клена остролистного (90%). Возобновление ценных твердолиственных пород плохое.

Подлесок под пологом сливы домашней густой (7,3–18,3 тыс. шт./га), бедный (2–3 вида в насаждении), средневысотный, состоит в основном из сливы домашней (97–98%).

Насаждения с преобладанием *яблони и груши* сформировались на месте общественных (колхозных и пришкольных) садов и на приусадебных участках. Встречаются они достаточно часто, но на небольших площадях. Отметим, что яблочно-ясенелистно-кленовые древостои повсеместно образовались на приусадебных участках в б. н. п. украинского сектора ЗО ЧАЭС [17].

Древостои в насаждениях с преобладанием яблони и груши низкорослые, редкие, с участием в составе клена остролистного, ясеня обыкновенного, сливы домашней (табл. 2).

Подрост в насаждениях яблони и груши (табл. 8) от редкого до очень густого (0,3–29,0 тыс. шт./га). В составе 2–6 (всего 10) пород. В «полевых» б. н. п. в подросте преобладает клен ясенелистный (60–97%) с примесью клена остролистного (31%), в «лесном» – ясень обыкновенный (53%) и клен остролистный (42%). В двух насаждениях ход естественного возобновления ценных твердолиственных пород протекает хорошо, в одном из-за отсутствия вблизи семенных деревьев – плохо.

Подлесок редкий (0,7–1,7 тыс. шт./га) из 2–6 пород. В «полевых» б. н. п. в его составе преобладает слива (88–99%), в «лесном» почти в равных долях представлены бересклет европейский (26%), крыжовник обыкновенный (26%) и крушина ломкая (22%).

Прогалины в б. н. п., расположенных на плодородных почвах, небольшие и немногочисленные. В редких *древостоях* (до 250 шт./га) преобладает клен ясенелистный или плодовые породы (табл. 2).

Подрост древесных пород на прогалинах средней высоты и высокий, но редкий (0,09–1,2 тыс. шт./га). В составе по 2–5 (всего 6) видов. Зарастают они медленно, преимущественно плодовыми породами и кленом ясенелистным; в «лесном» б. н. п. расселяется дуб черешчатый (табл. 9). Естественное возобновление твердолиственных пород на прогалинах протекает неудовлетворительно.

Подлесок единичный, высокий, из 7 видов, по 2–4 на прогалине (табл. 9).

Появление и развитие подроста хозяйственно ценных древесных пород в лесных фитоценозах, образовавшихся в б. н. п. на плодородных почвах, сдерживается недостаточной освещенностью под плотным пологом густых древостоев и плотным травяным покровом. Зарастанию лесом прогалин препятствуют развитый травяной покров с доминированием злаков, сильно задерненная почва, малое количество семенных деревьев вблизи них. Стимулирующее воздействие на лесообразование оказывали пожары на некоторых усадьбах.

Таблица 7

Характеристика подроста и подлеска в насаждениях сливы домашней

Порода	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %
Шифр ВПП	Вр4			Вз7			Дб1		
Подрост									
Груша обыкновенная	9/205	20	8,3	–	–	–	–	–	–
Дуб черешчатый	–	–	–	–	–	–	3/24	200	6,9
Клен остролистный	–	–	–	2/25	350	25,9	3/22	2600	89,7
Клен ясенелистный	4/59	220	91,7	4/65	1000	74,1	3/29	100	3,4
Средневзвешенное, или итого	4/71	240	100,0	3/55	1350	100,0	3/22	2900	100,0
Подлесок									
Бересклет европейский	3/44	360	1,9	4/68	200	2,7	–	–	–
Слива домашняя	4/54	17 820	97,4	5/97	7100	97,3	5/101	12 950	98,2
Смородина черная	6/95	120	0,7	–	–	–	–	–	–
Роза sp.	–	–	–	–	–	–	2/31	100	0,8
Средневзвешенное, или итого	4/54	18 300	100,0	5/96	7300	100,0	5/100	13 050	100,0

Породный состав формирующихся лесов в отселенных деревнях ЗО ЧАЭС весьма разнообразен. На ВПП учтено 19 древесных пород, в том числе 14 в древостоях и 17 – в подросте, и 20 кустарниковых. Всего в лесных фитоценозах исследованных б. н. п. выявлено 37 древесных и 31 кустарниковая порода. Из них 31 местная лесная порода (19 деревьев и 12 кустарников), 25 интродуцированных декоративных (12 и 13) и 12 плодово-ягодных (по 6).

Таблица 8

Характеристика подроста и подлеска в насаждениях груши и яблони

Порода	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %
Подрост									
Шифр ВПП	Вр1			Вз6			Дб4		
Акация белая	–	–	–	1/50	533	3,4	–	–	–
Вяз гладкий	–	–	–	9/159	533	3,4	–	–	–
Груша обыкновенная	–	–	–	–	–	–	5/134	100	0,3
Дуб черешчатый	–	–	–	–	–	–	3/33	300	1,0
Клен остролистный	–	–	–	6/151	4867	31,1	5/30	12 250	42,2
Клен ясенелистный	5/192	280	96,6	5/61	9400	60,0	4/81	800	2,8
Орех грецкий	–	–	–	3/33	233	1,5	–	–	–
Осина	–	–	–	–	–	–	2/52	100	0,3
Яблоня домашняя	6/115	10	3,4	–	–	–	–	–	–
Ясень обыкновенный	–	–	–	6/99	100	0,6	7/61	15 500	53,4
Средневзвешенное, или итого	5/189	290	100,0	5/92	15 666	100,0	6/48	29 050	100,0
Подлесок									
Бересклет европейский	–	–	–	–	–	–	3/53	300	26,2
Калина обыкновенная	–	–	–	2/20	33	2,0	–	–	–
Крушина ломкая	–	–	–	–	–	–	3/51	250	21,7
Крыжовник обыкновенный	–	–	–	–	–	–	3/45	300	26,1
Лещина обыкновенная	4/63	10	1,4	4/33	133	8,0	2/45	50	4,3
Слива домашняя	4/187	680	98,6	5/196	1467	88,0	4/103	50	4,3
Роза sp.	–	–	–	2/58	33	2,0	2/46	200	17,4
Средневзвешенное, или итого	4/185	690	100,0	5/177	1666	100,0	2/51	1 150	100,0

Таблица 9

Характеристика подроста и подлеска на прогалинах

Порода	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет/ высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %	Средние: возраст, лет / высота, см	Густота, шт./га	Доля в составе, %
Шифр ВПП	Вр7			В38			Дб7		
Подрост									
Вяз гладкий	–	–	–	6/148	12	1,0	–	–	–
Груша обыкновенная	7/141	12	13,6	7/143	136	11,0	5/112	20	5,7
Дуб черешчатый	–	–	–	–	–	–	6/123	93	26,3
Клен остролистный	–	–	–	6/111	24	1,9	–	–	–
Клен ясенелистный	–	–	–	4/119	920	74,7	6/417	227	64,3
Яблоня домашняя	6/131	76	86,4	7/169	140	11,4	9/154	13	3,7
Средневзвешенное, или итого	6/132	88	100,0	5/127	1232	100,0	6/313	353	100,0
Подлесок									
Алыча	–	–	–	9/201	36	69,2	–	–	–
Бересклет европейский	4/120	4	0,7	–	–	–	–	–	–
Калина обыкновенная	–	–	–	7/166	8	15,4	–	–	–
Крушина ломкая	5/178	8	1,3	–	–	–	–	–	–
Слива домашняя	5/44	596	98,0	8/195	4	7,7	7/161	7	10,4
Шиповник собачий	–	–	–	7/192	4	7,7	–	–	–
Роза sp.	–	–	–	–	–	–	5/179	60	89,6
Средневзвешенное, или итого	5/46	608	100,0	8/194	52	100,0	5/177	67	100,0

Негативной особенностью лесообразования в б. н. п. является преобладание насаждений чужеродных вредоносных видов – клена ясенелистного, акации белой и тополя белого. В Беларуси необходимы меры по противодействию их распространения и борьбы с ними [18].

Самый агрессивный и особо опасный из них – клен ясенелистный. В стране зарегистрировано 4271 место его произрастания, в том числе 526 мест в Гомельской области, помимо ЗО ЧАЭС [20]. В ЗО ЧАЭС распространение этого вида приняло угрожающие масштабы. Он встречается почти во всех б. н. п. и за их пределами. На богатых почвах его насаждения занимают до 50–80% территорий отселенных деревень. Примесь клена ясенелистного в древостоях встречается на 47% ВПП, подрост – на 90%, в том числе преобладает на 56,5% ВПП. Под пологом 70,6% насаждений других пород его подрост редкий, 17,6% – средней густоты, 11,8% – густой. По данным лесоустройства, в 2000 г. кленовники (в основном клен остролистный) в ЗО занимали 96 га. В результате введения клена ясенелистного в лесные культуры и за счет естественно образованных им насаждений в б. н. п. площадь кленовников выросла до 162 га в 2011 г. и до 971 га в 2020 г. По нашей оценке, в ЗО ЧАЭС имеется более 100 мест произрастания этого вида площадью более 1000 га.

Клен ясенелистный – недолговечная пионерная порода. Его лесные культуры в Беларуси в кисличном типе леса начинают распадаться с 30–40 лет [21]. Признаки деградации древостоев уже наблюдаются в ряде насаждений в б. н. п. ЗО ЧАЭС. В появившихся «окнах» встречается подрост осины, вяза гладкого, клена остролистного, липы мелколистной, ясеня обыкновенного, дуба черешчатого, который со временем будет внедряться в деградирующие древостои клена ясенелистного. Так как к 20–30 годам осина, береза, клен остролистный, вяз гладкий подчиняют его под свой полог, то в перспективе допускаем распад некоторой части древостоев интродуцента и смену их насаждениями с преобладанием местных пород.

Акация белая – особо опасный инвазионный вид в Беларуси. В Гомельской области находится 519 ее местонахождений, или 30,9% от всех в стране площадью 245,1 га (49,5%) [20]. Эта порода повсеместно встречается в ЗО ЧАЭС, преимущественно в б. н. п. на песчаных почвах. Распространение ее насаждений протекает медленно. Согласно данным лесоустройства, площадь насаждений этого интродуцента в 2000 г. составляла 13 га, в 2010 и 2020 гг. – 19 га. Фактически она произрастает почти в каждом б. н. п., а на песчаных почвах входит в тройку самых распространенных пород наряду с кленом ясенелистным и сливой домашней [22]. На плодородных почвах инвазионная роль акации белой выражена слабее. Насаждения ее единичные и небольшие. Редкое возобновление этой породы на 29,4% ВПП не имеет перспектив образования древостоев. В ряде ее насаждений имеется достаточно густой подрост клена остролистного с примесью других местных широколиственных пород. Так как на плодородных почвах древостои акации белой обычно вытесняются теневыносливыми породами [23], то смена ее насаждений со временем ожидается и в б. н. п. ЗО ЧАЭС. Вместе с тем допускается возможность ее распространения на необлесившиеся участки.

Тополь белый – чужеродный вредоносный инвазионный вид, активно внедряющийся в естественные и нарушенные фитоценозы Беларуси посредством корневых отпрысков. В стране зарегистрировано 137 его местонахождений, в том числе 21 место в Гомельской области вне ЗО ЧАЭС [20]. В б. н. п. ЗО ЧАЭС тополь белый встречается довольно часто, образует мелкие куртины и насаждения вокруг высаженных до аварии на ЧАЭС материнских деревьев. Продолжает захватывать прилегающие участки, особенно на выгоревших подворьях.

В лесообразовании постепенно растет роль местных древесных пород. Осина формирует чистые по составу быстрорастущие устойчивые расширяющиеся по площади древостои, присутствует в насаждениях других пород в виде примеси в древостоях и редкого подроста под их пологом. Прогнозируется дальнейшее распространение ее насаждений и повышение участия в составе древостоев других пород. Клен остролистный образует насаждения, преимущественно на выгоревших подворьях, где подчиняет под свой полог клен ясенелистный. Он встречается в составе древостоев других пород (на 27,8% ВПП). Выявлен в подросте на 66,7% ВПП, в том числе на 27,8% ВПП он густой и средней густоты. Очевидно, что со временем его значимость в лесообразовании будет расти. Ясень обыкновенный встречается в подросте на 52,6% ВПП (на 30% ВПП он густой и очень густой), изредка – в составе насаждений других пород, местами начинает формировать древостои. Это одна из наиболее перспективных в б. н. п. пород. Ей отводится основная роль при смене древостоев пионерных интродуцированных (акации белой, клена ясенелистного) и плодовых пород. Вяз гладкий в б. н. п. встречается часто, в основном в виде примеси в древостоях других пород и редкого подроста. Насаждения со своим преобладанием формирует редко, поэтому в дальнейшем существенного значения в лесообразовании в б. н. п. он иметь не будет.

Насаждения яблони по данным лесоустройства в 2010 г. занимали 397 га. К 2020 г. их площадь сократилась до 38 га. В ближайшее время остатки плодовых садов из яблони и груши и образовавшиеся «рощицы» сливы домашней будут сменены древостоями с преобладанием кленов остролистного и ясенелистного, ясеня обыкновенного и других пород.

Самой распространенной подлесочной породой в лесных фитоценозах б. н. п. является слива домашняя. Ее возобновление встречалось на 72,2% и преобладало на 50% ВПП. В то же время там значительно распространился бересклет европейский, который регистрировался на 83,3% и доминировал в составе подлеска на 33,3% ВПП. Кроме того, на 11,1% ВПП в составе подлеска наблюдалась наибольшая доля лещины обыкновенной.

Заключение. Установлено, что через 34 года после эвакуации населения сомкнутыми лесными насаждениями покрылось до 80–95% территории усадеб и участков вокруг общественных зданий в б. н. п. ЗО ЧАЭС, расположенных на плодородных почвах. В этих лесах произрастает 37 древесных пород (19 местных, 12 интродуцированных, 6 плодовых). Дендрофлора каждого б. н. п. индивидуальна. Состав образовавшихся древостоев по территориям б. н. п. непрерывно меняется. Но везде доминируют насаждения клена ясенелистного, небольшими участками встречаются фитоценозы с преобладанием местных лесных (березы повислой, вяза гладкого, клена остролистного, осины, ясеня обыкновенного), интродуцированных (акации белой, тополя белого) и плодовых (сливы домашней, яблони домашней и груши обыкновенной) пород.

Сформировавшиеся древостои, за исключением плодовых пород, молодые (до 30 лет), преимущественно смешанные, высокобонитетные, густые, высокополнотные, с высокими запасами стволовой древесины.

Подрост в них редкий (на 35% ВПП), средней густоты (на 35%), густой (на 5%) и очень густой (на 25%). В его составе по 2–10 пород. Чаще преобладают клен ясенелистный (на 55% ВПП), акация белая (на 15%), ясень обыкновенный (на 15%), клен остролистный (на 10%), осина (на 5%). Содоминируют клен остролистный с долей участия 20,4–45,1% – на 30% ВПП, ясень обыкновенный (24,0–40,4%) и вяз гладкий (28,4–31,0%) – на 10%, липа мелколистная (26,6%) – на одной. Естественное возобновление хозяйственно ценных твердолиственных пород на 20% ВПП хорошее, на 10% – удовлетворительное, на 70% – плохое. На всех прогалинах подрост редкий, возобновление ценных пород неудовлетворительное.

В подлеске встречается 31 кустарниковая порода: 12 местных лесных, 13 интродуцированных и 6 плодово-ягодных. На 60% ВПП подлесок редкий, на 10% – средней густоты, на 20% – густой, на 10% – отсутствует. В его составе от одной до 12 пород. Преобладает слива домашняя. Прогрессирует распространение бересклета европейского и лещины обыкновенной. Возобновление кустарниковых видов на прогалинах редкое.

В б. н. п. широко распространены насаждения 3 агрессивных чужеродных вредоносных древесных видов – клена ясенелистного (доминируют), акации белой и тополя белого.

В перспективе возможна частичная смена древостоев клена ясенелистного и акации белой местными породами, ожидается расширение клоновых насаждений тополя белого, смена плодовых садов и «рощиц» сливы домашней кленом ясенелистным и местными лесообразующими видами. В дальнейшем в ходе лесообразовательных процессов будет повышаться роль местных видов: клена остролистного, осины, ясеня обыкновенного, в меньшей степени – березы повислой, вяза гладкого, дуба черешчатого.

Список литературы

1. Багинский В. Ф., Кудин М. В. Лесообразовательные процессы в местах поселений, перемещенных после аварии на Чернобыльской АЭС // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1 (41). С. 12–17.

2. Гусев А. П. Процессы самовосстановления растительного покрова в антропогенных ландшафтах зоны отселения (Ветковский лесхоз Гомельской области) // Труды Института леса НАН Беларуси. Вып. 61: Проблемы радиоэкологии леса. Лес. Человек. Чернобыль. Гомель, 2004. С. 52–54.

3. Кудин М. В. Особенности лесообразовательных процессов в белорусском секторе зоны эвакуации (отчуждения) Чернобыльской АЭС: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Гомель, 2011. 23 с.

4. Матвеев А. В., Гурский Б. Н., Левицкая Р. И. Рельеф Белоруссии. Минск: Университетское, 1988. 320 с.

5. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.

6. Почвы Полесского государственного радиационно-экологического заповедника = Soils of Polesye state radiation-ecological reserve / В. В. Лапа [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. 97 с.

7. Нестеров В. Г. Общее лесоводство. М.: Гослесбумиздат, 1949. 664 с.

8. Об утверждении Инструкции о порядке организации и содержании лесоустроительных работ, составе лесоустроительной документации и авторском надзоре за реализацией лесоустроительных проектов [Электронный ресурс]: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 30 июня 2017 г., № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: http://www.zakon.by/document/?guid=12551&p0=W21832881&p1=1(дата обращения: 20.01.2021).

9. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь: ТКП 622–2018 (33090). Введ. 12.07.2018. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2018. 96 с.

10. Методические указания по почвенно-лесотипологическому исследованию Государственного лесного фонда БССР / В. С. Гельтман [и др.]. Минск: Белорус. лесоустроит. предприятие, 1971. 72 с.

11. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.

12. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 561 с.

13. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.]. Минск: Ураджай, 1980. 360 с.

14. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / В. Ф. Багинский [и др.]. М.: ЦБНТИ, 1984. 308 с.

15. Лесазнаўства. Практыкум для студэнтаў / Я. Г. Пятроў [і інш.]. Мінск: БДТУ, 2000. 172 с.

16. О некоторых вопросах воспроизводства лесов в области лесовосстановления и лесоразведения [Электронный ресурс]: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 80 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578&p1=1 (дата обращения: 20.01.2021).

17. Петров М. Ф. Формирование лесных растительных группировок в населенных пунктах Чернобыльской зоны отчуждения // Труды Института леса НАН Беларуси. Вып. 63: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2005. С. 496–498.

18. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2020. 407 с.

19. Сироткин Ю. Д., Углянец А. В. О целесообразности культивирования акации белой в лесах БССР // Труды БТИ / Бел. технол. ин-т. Вып. 24: Лесоведение и лесное хозяйство. Минск, 1989. С. 68–72.

20. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг. / О. М. Масловский [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2019. 599 с.

21. Федорук А. Т. Опыт интродукции древесных лиственных растений в Белоруссии. Минск: Университетское, 1985. 160 с.

22. Углянец А. В., Гарбарук Д. К. Естественное возобновление леса в отселенных деревнях, расположенных на песчаных почвах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 26–41.

23. Westhus W. Zur Wegetationsentwicklung von Afforstungen, insbesondere mit Robinia pseudoacacia L. // Archiv fur Naturschutz und Landschaftstorschung. 1981. Vol. 21, no. 4. P. 211–225.

References

1. Baginskiy V. F., Kudin M. V. Forest formation processes in the areas of settlements abandoned after the accident at the Chernobyl NPP. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest valuation], 2009, no. 1 (41), pp. 12–17 (In Russian).

2. Gusev A. P. Processes of self-restoration of vegetation cover in anthropogenic landscapes of the settlement zone (Vetkovsky forestry of the Gomel region). *Trudy Instituta lesa NAN Belarusi* [Works of the Institute of Forest of NAS of Belarus], 2004, issue 61, Problems of forest radioecology. Forest. Human. Chernobyl, pp. 52–54 (In Russian).

3. Kudin M. V. *Osobennosti lesoobrazovatel'nykh protsessov v belorusskom sektore zony evakuatsii (otchuzhdeniya) Chernobyl'skoy AES. Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Features of forest formation processes in the Belarusian sector of the Chernobyl evacuation (exclusion) zone. Abstract of thesis PhD (Agriculture Science)]. Gomel', 2011. 23 p.

4. Matveev A. V., Gurskiy B. N., Levitskaya R. I. *Rel'yef Belorussii* [The relief of Belarus]. Minsk, Universitetskoye Publ., 1988. 320 p.

5. Makhnach A. S., Garetskiy R. G., Matveev A. V. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk, Institut geologicheskikh nauk NAN Belarusi Publ., 2001. 815 p.

6. Lapa V. V., Tsybul'ko N. N., Tsyribko V. B., Ustinova A. M., Chervan' A. N., Logachev I. A., Kudin M. V., Antipenko O. N. *Pochvy Polesskogo gosudarstvennogo radiatsionno-ekologicheskogo zapovednika* [Soils of Polesye State Radiation-Ecological Reserve]. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2019. 97 p.

7. Nesterov V. G. *Obshcheye lesovodstvo* [General forestry]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1949. 664 p.

8. *Instruktsiya o poryadke organizatsii i soderzhaniya lesoustroitel'nykh rabot, sostave lesoustroitel'noy dokumentatsii i avtorskom nadzore za realizatsiey lesoustroitel'nykh proektov* [The instruction about the order of the organization and the maintenance of forest management works, structure of forest management documentation and author's supervision of implementation of forest management projects]. Available at: http://www.zakon.by/document/?guid=12551&p0=W21832881&p1=1 (accessed 20.01.2021).

9. TKP 622–2018 (33090). Technical requirements in forest management. The allocation and inventory of cutting areas in conducting forest management activities in the forests of the Republic of Belarus. Minsk, Ministry of forestry of the Republic of Belarus Publ., 2018. 96 p. (In Russian).

10. Gel'tman V. S., Ugrinovich L. P., Mayorov M. E., Pukhovskiy A. S., Kavtukho M. G., Romanova T. A., Ivanov A. F., Solov'yev I. N. *Metodicheskiye ukazaniya po pochvenno-lesotipologicheskomu issledovaniyu Gosudarstvennogo lesnogo fonda BSSR* [Guidelines for soil and forest typological research of the State forest fund of the BSSR]. Minsk, Belorusskoye lesoustroitel'noye predpriyatiye Publ., 1971. 72 p.

11. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types in forest managements operations]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p.

12. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest valuation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 561 p.

13. Miroshnikov V. S., Trull' O. A., Ermakov V. E., Dol'skiy L. V., Kostenko A. G. *Spravochnik taksatora* [A guide for forest taxator]. Minsk, Uradzhay Publ., 1980. 360 p.

14. Baginskiy V. F., Kislyakov V. N., Shvets V. F., Dol'skiy L. V., Kostenko A. G. *Normativnyye materialy dlya taksatsii lesa Belorusskoy SSR* [Normative materials for forest inventory of the Belarusian SSR]. Moscow, TsBNTI Publ., 1984. 308 p.

15. Petrov E. G., Labokha K. V., Mukhurov L. I., Rigal' L. V. *Lesovedeniye. Praktikum dlya studentov* [Forest science. A guide for students]. Minsk, BGTU Publ., 2000. 172 p.

16. *O nekotorykh voprosakh vosproizvodstva lesov v oblasti lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya* [About some questions of reproduction of the woods in the field of reforestation and afforestation]. Available at: http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578&p1=1 (accessed 20.01.2021).

17. Petrov M. F. Formation of groups of forest vegetation in partial residential localities of the Chernobyl exclusion zone. *Trudy Instituta lesa NAN Belarusi* [Works of the Institute of Forest of NAS of Belarus], 2005, issue 63, Problems of forest science and forestry, pp. 496–498 (In Russian).

18. Dubovik D. V., Dmitrieva S. A., Laman N. A., Lebed'ko V. N., Levkovich A. V., Maslovskiy O. M., Parfenov V. I., Prokhorov V. N., Pugachevskiy A. V., Savchuk S. S., Skuratovich A. N., Sysoy I. P., Chumakov L. S., Yakovleva I. M., Garanovich, I. M., Dzhus M. A., Romanyuk A. L. *Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodnyye vredonosnyye rasteniya* [Black book of flora of Belarus: foreign harmful plants]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 407 p.

19. Sirotkin Yu. D., Uglyanets A. V. On the feasibility of cultivating white acacia in the forests of the BSSR. *Trudy Belorusskogo tekhnologicheskogo instituta* [Works of the Belarusian Technological Institute], 1989, issue 24, Forest science and forestry, pp. 68–72 (In Russian).

20. Maslovskiy O. M., Levkovich A. V., Sysoy I. P., Kolesnikova M. P., Rodionov P. A., Chumakov L. S., Shimanovich R. V. Grigor'eva K. S., Giryaev A. S. *Gosudarstvennyy kadastr rastitel'nogo mira Respubliki Belarus'. Osnovy kadastra. Pervichnoye obsledovaniye 2002–2017 gg.* [State Plant Cadastre of the Republic of Belarus. Fundamentals of the Cadastre. Primary investigation 2002–2017]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2019. 599 p.

21. Fedoruk A. T. *Opyt introduktsii drevesnykh listvennykh rasteniy v Belorussii* [Experience of introduction of woody deciduous plants in Belarus]. Minsk, Universitetskoye Publ., 1985. 160 p.

22. Uglyanets A. V., Garbaruk D. K. Natural forests regeneration in evicted villages located on sandy soils of the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 1 (240), pp. 26–41 (In Russian).

23. Westhus, W. Zur Wegetationsentwicklung von Afforstungen, insbesondere mit Robinia pseudoacacia L. *Archiv fur Naturschutz und Landschaftstorschung.* 1981, vol. 21, no. 4, pp. 211–225 (In English).

Информация об авторах

Гарбарук Дмитрий Константинович – заведующий отделом экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, Гомельская область, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Углянец Анатолий Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, Гомельская область, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: uhlianets@mail.ru

Воронецкая Алеся Николаевна – младший научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, Гомельская область, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: Voronetskaya2015@mail.ru

Information about the authors

Garbaruk Dmitriy Konstantinovich – Head of the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoyniki, Gomel' region, Republic of Belarus). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Uglyanets Anatoliy Vladimirovich – PhD (Agriculture), Leading Researcher, the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoyniki, Gomel' region, Republic of Belarus). E-mail: uhlianets@mail.ru

Voronetskaya Alesya Nikolayevna – Junior Researcher, the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoyniki, Gomel' region, Republic of Belarus). E-mail: Voronetskaya2015@mail.ru

Поступила 30.03.2021

УДК 630*232:630*221.411:630*174.754

К. В. Лабоха[1], А. А. Прищепов[1], А. О. Луферов[2]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]РДЛУП «Гомельлеспроект»

ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ РУБКАМИ ОБНОВЛЕНИЯ

Для проведения исследований были заложены 39 временных пробных площадей в сосновых насаждениях различных типов леса на территории лесного фонда 12 лесхозов Беларуси в выделах, в которых проводилась рубка обновления.

В процессе исследований была выполнена оценка естественного возобновления леса в сосновых насаждениях с учетом типа леса, полноты насаждения после рубки, наличия либо отсутствия подроста до начала проведения рубки обновления.

В результате исследований были выявлены факторы, оказывающие непосредственное влияние на успешность протекания возобновительных процессов под пологом сосновых насаждений после проведения рубки обновления. Одним из важнейших факторов, влияющих на естественное возобновление сосны, является полнота материнского древостоя после проведения рубки обновления. Установлено, что наиболее оптимальным является ее значение 0,51–0,60. Более низкое значение полноты способствует разрастанию травянистой растительности, более высокое – недостатку освещенности под пологом материнского насаждения.

В результате всестороннего анализа предложены возможные пути формирования сосновых лесов рубками обновления. Также даны рекомендации по мерам содействия естественному возобновлению леса и технологии проведения рубок обновления.

Ключевые слова: сосна, естественное возобновление леса, рубка обновления.

Для цитирования: Лабоха К. В., Прищепов А. А., Луферов А. О. Пути формирования естественных сосновых насаждений рубками обновления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 51–57.

K. V. Labokha[1], A. A. Prishchepov[1], A. O. Luferov[2]
[1]Belarusian State Technological University
[2]RDLUP “Gomellesproekt”

WAYS OF FORMATION OF NATURAL PINE FORESTS BY RENOVATION FELLING

To carrying out the research, 39 temporary indicator plots were laid in various types of pine forests on the territory of the forest fund of 12 forest enterprises of Belarus in the areas where renovation felling was carried out.

In the course of the research, it was made an assessment of the natural regeneration in pine stands with renovation felling carried out in them, taking into account the type of forest, the stand density after the felling, the presence or absence of undergrowth before the renovation felling.

As a result of the research, factors were identified that have a direct impact on the success of the regeneration processes under the canopy of the stand after the renovation felling. One of the most important factors affecting the pine natural regeneration is the density of the forest stand after renovation felling. It was found that the most optimal value is 0.51–0.60. A lower value of stand density promotes the growth of herbaceous vegetation, a higher value – a lack of illumination under the canopy of the stand.

As a result of a comprehensive analysis, possible ways of forming sustainable pine forests by renovation felling are proposed. Also, recommendations are given on measures to promote natural forest regeneration and technologies for renovation felling.

Key words: pine, natural regeneration of forest, renovation felling, forest stand, undergrowth.

For citation: Labokha K. V., Prishchepov A. A., Luferov A. O. Ways of formation of natural pine forests by renovation felling. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 51–57 (In Russian).

Введение. По состоянию на 1 января 2020 г. сосновые леса в Республике Беларусь занимают 49,2% (4 076,9 тыс. га) от покрытых лесом земель и являются преобладающими [1].

Установлено, что проведение выборочных санитарных рубок не способствует повышению продуктивности и устойчивости рекреационных сосновых насаждений. Для этих целей лучше всего подходят рубки обновления. При проведении данных рубок происходит омоложение насаждений и изменение лесорастительной среды [2].

Рубки обновления являются эффективным способом омоложения рекреационных сосновых насаждений. Количество приемов рубки обновления зависит от исходной полноты насаждения. Период повторяемости между приемами рубки зависит от наличия подроста, его качественных и количественных характеристик. Проведение рубок обновления с соблюдением лесоводственных требований позволяет сформировать в будущем устойчивые к антропогенному воздействию разновозрастные насаждения, сложные по форме и смешанные по составу. Считается, что если количество подроста в пересчете на крупный составляет более 2,0 тыс. шт./га, а полнота ниже 0,5, то рубка обновления проводится в один прием, площадь лесосеки при этом не должна превышать 2 га. Если же полнота насаждения выше 0,5, то рубка обновления проводится в два приема. Второй прием рубки выполняется, как правило, через 5–7 лет после проведения первого [3, 4].

Проведение рубок обновления позволяет создать благоприятные условия для естественного возобновления целевых древесных пород, соответствующих условиям произрастания. Наилучшим образом этого можно достичь, проводя рубку в зимний период с применением технологий, позволяющих максимально сохранить лесную среду и деревья, оставленные для дальнейшего выращивания [5, 6].

В исследованиях В. Ф. Ковязина и Н. В. Беляевой также отмечается, что рубки обновления должны проводиться в зимний период, но только в тех древостоях, под пологом которых имеется жизнеспособный подрост хвойных пород предварительной генерации в количестве не менее 2500 шт./га. При проведении рубки необходимо обеспечить максимальную сохранность этого подроста. Затем спустя 3–5 лет следует провести рубку ухода, так как считается, что к этому времени механические повреждения на подросте, полученные при проведении рубки, зарастут, а быстрорастущие лиственные, а также погибшие экземпляры деревьев хвойных пород следует удалять из насаждения [7].

Также благоприятные условия для успешного естественного возобновления леса могут создаваться рубками обновления, проведенными равномерно-постепенным способом. Для этого при выполнении рубок нужно обязательно обеспечить сохранение подроста предварительной и сопутствующей генерации. В свою очередь установлено, что проведение рубок обновления мелкоплощадковым способом затрудняет процесс естественного возобновления леса. Причиной тому является скапливание под пологом насаждения застойного перегретого воздуха, способствующего быстрому разрастанию злаковых видов травянистой растительности, малины и корнеотпрысковой осины [8, 9].

Считается, что главным фактором, влияющим на рост и развитие подроста сосны обыкновенной под пологом леса, выступает освещенность [10]. В связи с этим было установлено, что при полноте сосновых насаждений 0,4–0,5 создаются наиболее благоприятные световые условия для появления самосева [11]. Также существует мнение, что все-таки самой оптимальной для роста самосева и подроста можно считать полноту древостоя до 0,7 [12, 13].

При сильном изреживании насаждения возникает опасность заглушения самосева и подроста сосны другими ярусами растительности, которое негативно скажется на дальнейшем росте и формировании подроста. Но и при полноте насаждения выше 0,7 количество подроста значительно снижается либо он отсутствует вовсе [14].

Основная часть. Эффективной с точки зрения лесоводства может считаться рубка обновления, при которой обеспечивается появление достаточного количества жизнеспособного подроста главных лесообразующих пород для достижения непрерывной смены поколений.

Для осуществления исследований были проанализированы сосновые насаждения с проведенной в них рубкой обновления на 39 пробных площадях, заложенных в 12 лесхозах страны.

В таблице представлена сводная ведомость характеристик материнских древостоев после проведения рубок обновления, а также подроста, образовавшегося в результате проведения рубки на исследованных участках или сформированного молодняка.

На основании полученных из таблицы данных об успешности проведения рубок обновления на исследованных участках можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее успешно процесс формирования соснового подроста идет в ТУМ A_2 (сосняк мшистый, вересковый, брусничный). В сосняке

черничном формируются молодняки с преобладанием твердолиственных пород (дуб, клен), сосновому подросту сложно сформироваться в связи с густым мохово-лишайниковым и травяно-кустарничковым ярусами, а также высокой интенсивностью развития подлесочного яруса. В ТУМ B_2 (сосняк орляковый) формирование соснового подроста ограничивается более быстрорастущими мягколиственными и подлесочными породами, что связано с большим богатством данных лесорастительных условий.

2. Полнота материнского древостоя – один из важнейших факторов, влияющих на формирование соснового подроста, наиболее оптимальным является ее значение 0,51–0,60. Более низкое значение полноты способствует разрастанию травянистой растительности, более высокое – недостатку освещенности под пологом насаждения. Оба отклонения отрицательно коррелируют с густотой соснового подроста.

3. На некоторых из исследованных участков недостаточное количество подроста (или его отсутствие) связано с несовпадением времени проведения рубки (а также полное отсутствие минерализации почвы под пологом) со временем семеношения материнских древостоев (май – июнь для сосны).

4. На большей части исследованных участков отсутствовало целенаправленное проведение минерализации почвы под пологом, повреждение живого напочвенного покрова происходило за счет движения техники, а также в результате взрыхления дикими животными. Отсутствовали также уходы за формирующимся подростом. В результате в некоторых случаях происходила смена пород (ПП 35-99-28), а в сосняке черничном отмечено формирование угнетенных «подлесочных» дубово-кленовых молодняков, которые не в состоянии сформировать высокопроизводительные древостои на данных участках в перспективе и, вероятно, будут вытеснены мягколиственными породами (Островецкий лесхоз).

5. Исследованию подверглись участки с проведением первого приема рубки обновления. До проведения последующих приемов рубки доходит небольшое число выделов, что связано с недопониманием лесхозами основной цели рубки (лесовосстановление, а не лесопользование), а также недостаточным вниманием лесоустройства при контроле участков, в которых проведены первые приемы рубок обновления, и непроектированием последующих (завершающих) приемов на предстоящий период при базовом лесоустройстве.

Характеристика материнских древостоев и образующихся под их пологом молодняков на исследованных участках

№ ПП, квартал, выдел	Год рубки	Тип леса/ ТУМ	Состав древостоя	Полнота древостоя	Характеристика подроста (древостоя)	
					состав	густота, тыс.шт./га (полнота)
Бегомльский лесхоз						
1 (56/22)	2017	С. мш./A_2	2-й ярус 10С	0,16	10С + Б + Ос	6,250
2 (78/9)	2017	С. мш./A_2	1-й ярус 10С	0,47	9С1Ос	4,770
3 (56/23)	2017	С. мш./A_2	1-й ярус 10С + Б	0,52	8С1Б1Ос	7,360
4 (56/27)	2013	С. мш./A_2	1-й ярус 10С	0,29		
			2-й ярус 9С1Е	0,31	10С + Б	2,800
5 (63/2)	2013	С. мш./A_2	1-й ярус 10С + Б + Ос	0,52	10С + Б + Ос	21,770
6 (86/2)	2016	С. мш./A_2	1-й ярус 10С + Б	0,53	10С + Б	1,860
7 (77/59)	2018	С. мш./A_2	1-й ярус 10С + Б	0,31	10С + Е	3,800
8 (77/62)	2017	С. мш./A_2	1-й ярус 10С + Е + Б	0,42	10С + Е + Б + Ос	3,450
Березинский лесхоз						
9 (52/10)	2016	С. мш./A_2	1-й ярус 10С	0,28		
			2-й ярус 10С	0,28	9С1Б + Е	2,000
10 (40/81)	2016	С. мш./A_2	1-й ярус 10С	0,30	Отсутствует	
11 (52/71)	2016	С. ор./B_2	1-й ярус 10С	0,40	9С1Б	7,100
12 (70/64)	2016	С. ор./B_2	1-й ярус 10С	0,40	9С1Е	1,100
13 (40/80)	2016	С. ор./B_2	2-й ярус 10С	0,39	Отсутствует	
14 (40/55)	2016	С. ор./B_2	1-й ярус 10С	0,71	10С	4,100
Островецкий лесхоз						
15 (46/26)	2012	С. чер./A_3	1-й ярус 8С1Е1Д + Кл, Б	0,41	6Д4Кл	0,500
16 (46/28)	2012	С. чер./A_3	1-й ярус С2Б1Д1Кл + Е, Лп, Ос, Олч	0,35	9Кл1Д	0,230
17 (49/9)	2012	С. мш./A_2	1-й ярус 6С4Е + Б	0,22	4Д4Б2С + Е	0,960

Окончание таблицы

№ ПП, квартал, выдел	Год рубки	Тип леса/ ТУМ	Состав древостоя	Полнота древостоя	Характеристика подроста (древостоя)	
					состав	густота, тыс.шт./га (полнота)
18 (27/16)	2012	С. чер./$А_3$	1-й ярус 8С1Е1Д + Кл	0,13	10Кл + Д	2,700
19 (65/29)	2012	С. чер./$А_3$	1-й ярус 6С4Е + Б, Ос	0,62	Отсутствует	
20 (31/30)	2012	С. мш./$А_2$	1-й ярус 7С1Е2Б + Д, Кл, Лп, Ос	0,27	Отсутствует	
Вилейский опытный лесхоз						
21 (83/3)	2013	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С + Д, Б	0,58	7С3Б	9,900
22 (103/8)	2013	С. бр./$А_2$	1-й ярус 10С	0,52	10С	3,400
23 (103/17)	2013	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С	0,61	9С1Б	10,600
24 (155/9)	2013	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С + Б	0,63	7С3Б	2,100
Пуховичский лесхоз						
25 (38/61)	2012	С. дм./ $А_4$	1-й ярус 9С1Д1Б + Ос	0,31	9С1Б	1,700
26 (29/15)	2012	С. чер./$А_3$	1-й ярус 5Е4С1Б + Ос	0,54	Отсутствует	
27 (68/1)	2013	С. ор./$В_2$	2-й ярус 8Д1С1Б	0,37	Отсутствует	
28 (60/19)	2013	С. ор./$В_2$	1-й ярус 9С1Б + Д	0,29	6С2Д2Б	0,550
Копыльский опытный лесхоз						
29 (54/22)	2016	С. ор./$В_2$	1-й ярус 7С3Е	0,41	7С3Б + Д, Е	3,710
			2-й ярус 4С3Е3Д	0,12		
Гомельский опытный лесхоз						
30 (102/4)	2015	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С + Д, Б	0,56	10С	1,200
31 (102/7)	2015	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С	0,41	10С	4,300
32 (106/1)	2015	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С + Б	0,44	10С	3,100
33 (106/5)	2015	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С + Б	0,44	10С	1,600
Мозырский опытный лесхоз						
34 (40/9)	2011	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С + Б	0,52	9С1Б	4,600
Молодечненский лесхоз						
35 (99/28)	2014	С. мш./$А_2$	1-й ярус 9С1Е + Д, Я, Кл, Г, Б, Ос, Олч	0,50	3С6Б1Ос + Кл	5,000
			2-й ярус 4С4Е1Д1Б + Кл, Я, Г, Ос, Олч	0,18		
Сморгонский опытный лесхоз						
36 (5/7)	2011	С. мш./$А_2$	1-й ярус 10С	0,52	10С + Б	4,540
Гродненский лесхоз						
37 (207/12)	2014	С. мш./$А_2$	1-й ярус 9С1Б	0,32	9С1Б (45 лет)	Полнота 0,41
Калинковичский лесхоз						
38 (62/16)	2016	С. вер./$А_2$	1-й ярус 10С	0,35	8С2Б	4,420
39 (72/11)	2009	С. мш./$А_2$	1-й ярус 9С1Б	0,41	7С (30 лет) 3С (55 лет) + Б	Полнота 0,38

В настоящее время в Беларуси основной документ, регламентирующий проведение рубок обновления, – «Правила рубок леса в Республике Беларусь» [15]. Документ «Рекомендации по проведению рубок обновления и переформирования в насаждениях различного целевого назначения Республики Беларусь» [5] после утверждения новой редакции Лесного кодекса [16] окончательно потерял свою актуальность. Таким образом, в настоящее время назревает необходимость в создании новых рекомендаций по проведению рубок обновления.

На основании изучения и всестороннего анализа процессов естественного возобновления леса при проведении рубок обновления в сосновых насаждениях страны можно предложить следующие пути формирования устойчивых сосняков рубками обновления:

1) в насаждениях, в которых отсутствует ценный подрост или его количества недостаточно, для появления самосева в семенной год должно проводиться содействие естественному возобновлению леса, заключающееся в минерализации поверхности почвы. Минерализацию поверхности почвы нужно осуществлять за 4–5 лет до рубки в среднеполнотных насаждениях с сомкнутостью крон не более 0,6 или после первого приема при отсутствии достаточного количества подроста;

2) для естественного возобновления сосны почву подготавливают полосами или площадками при помощи рыхлителей, покровосдирателей, борон, плугов и других орудий. Из по-

кровосдирателей целесообразно использовать приспособления, удаляющие напочвенный и мертвый покров без перемешивания его с минеральной частью почвы;

3) в сосновых древостоях почву необходимо обрабатывать в конце лета и осенью. В смешанных древостоях с участием лиственных пород от 3 и более единиц состава почву рекомендуется обрабатывать поздней осенью после опадения листьев. Обработку почвы приурочивают к просветам в кронах деревьев и к местам под редкими кронами деревьев. Обработанная почва должна составлять в сумме не менее 20% от общей площади участка. В переувлажненных условиях сосняков черничных и долгомошных содействие естественному возобновлению следует проводить плужными бороздами с созданием микроповышений (пластов), благоприятствующих появлению самосева;

4) после рубки и очистки лесосек следует проводить оправку самосева и подроста. При этом нужно освобождать его от порубочных остатков, ветвей и присыпавшей почвы. В случае отсутствия подроста в древостоях сосняков орляковых и кисличных с густым подлеском лещины перед обработкой почвы целесообразно изреживать подлесок на 20–50%;

5) снижение полноты материнского полога необходимо производить до 0,51–0,60 при первом приеме рубки;

6) при ведении хозяйственной деятельности лесхозами нужно вести четкий контроль участков с выполнением первых приемов рубки обновления, а также следить за ходом формирования подроста под пологом насаждений;

7) повторяемость приемов – через 4 и более лет при наличии достаточного количества подроста главных пород в соответствии с Правилами рубок леса в Республике Беларусь [15];

8) при лесоустроительном проектировании необходимо отслеживать участки, в которых проведены первые приемы рубок, и при необходимости намечать последующие приемы на предстоящий 10-летний период;

9) в условиях с реальной опасностью повреждения подроста и молодняка дикими животными возможно проведение следующих мероприятий:

а) регулирование численности диких животных;

б) огораживание наиболее ценных участков изгородью в 2–3 жерди на высоту до 1,5 м;

в) сохранение и формирование перегущенных куртин высокорослого подроста;

10) при проведении рубок обновления в сосняках целесообразно применять следующие основные технологические комплексы машин и механизмов:

– бензиномоторные пилы и форвардеры;

– харвестеры и форвардеры.

В процессе разработки лесосек работникам лесного хозяйства необходимо осуществлять контроль за соблюдением лесоводственно-экологических требований в процессе лесосечных работ.

При проведении первых приемов рубок обновления харвестером особенно важно избегать повреждения почвы, стволов и корней оставляемых деревьев.

После каждого приема рубки обязательно выполнение минерализации почвы, кроме случаев наличия сохраненного в достаточном количестве подроста после проведения рубки, а также в случае появления обильного самосева в процессе рубки или в течение полугода после ее проведения.

При отсутствии достаточного количества самосева и подроста главных пород через 3 года после каждого приема рубки лесничий по согласованию со специалистами лесхоза принимает решение о необходимости создания частичных лесных культур в соответствии с действующей нормативной базой (возможен подсев семян одновременно с минерализацией почвы) [15].

В сосновых насаждениях рекомендуется использовать следующие способы очистки лесосек от порубочных остатков:

1) сбор порубочных остатков в кучи высотой и диаметром до 2,5 м и (или) валы высотой и шириной до 2,5 м;

2) разбрасывание в измельченном виде по лесосеке не собранных в кучи и (или) валы порубочных остатков;

3) сбор порубочных остатков в кучи диаметром до 2,5 м и высотой до 1,5 м и их сжигание.

Сбор порубочных остатков может осуществляться как вручную, так и при помощи специализированных машин. Вручную данную операцию необходимо выполнять при рубках с сохранением равномерно распределенного подроста, а также на небольших лесосеках.

Заключение. В процессе исследований был проанализирован ход естественного возобновления леса в сосновых насаждениях после проведения в них рубок обновления и выявлены основные причины неуспешного протекания лесовозобновительных процессов. На основании данного анализа предложены возможные пути формирования устойчивых сосновых лесов рубками обновления. Также даны рекомендации по мерам содействия естественному возобновлению леса и технологии проведения рубок обновления.

Список литературы

1. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2020. Минск: Белгослес, 2020. 65 с.

2. Секерин И. М., Шипицина О. В., Годовалов Г. А. Возобновление леса после рубок обновления в сосновых древостоях // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы V Всерос. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2009. С. 82–84.

3. Залесов С. В., Бачурина С. В. Эффективность рубок обновления в рекреационных сосняках // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 12 (110). С. 53–57.

4. Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 278 с.

5. Рекомендации по проведению рубок обновления и переформирования насаждений различного целевого назначения Республики Беларусь. Минск: Минлесхоз, 1999. 22 с.

6. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Лесоводство: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2015. 440 с.

7. Ковязин В. Ф., Беляева Н. В. Возобновительные сукцессии фитоценозов после специальных рубок леса // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 17. С. 170–173.

8. Залесова М. С., Терин А. А., Залесов С. В. Лесоводственная эффективность рубок обновления каймовым способом в сосняках, вышедших из подсочки: материалы науч.-техн. конф. студентов и аспирантов лесохозяйственного ф-та. Екатеринбург, 2004. С. 5.

9. Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние ассимиляционного аппарата подроста сосны обыкновенной в рекреационных сосняках, пройденных рубками обновления // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № (6) 56. С. 54–57.

10. Бугаев В. А. Реконструкция малоценных лесов. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1991. 128 с.

11. Луганский Н. А., Залесов С. В., Щавровский В. А. Лесоведение: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТА, 1996. 373 с.

12. Пшеничникова Л. С., Иванов В. В. Сохранность подроста и его выживаемость. Вырубки светлохвойных лесов // Формирование лесных экосистем в условиях интенсивной лесоэксплуатации. 1998. С. 74–84.

13. Петров Н. Ф. Учет сохранившегося подроста и лесоводственная оценка технологии лесосечных работ // Возобновление и формирование лесов Сибири. 1969. С. 169–172.

14. Скригаловская В. А., Гордей Н. В., Козлов А. К. Естественное возобновление сосновых фитоценозов // Труды БГТУ. Сер. I: Лесное хоз-во. 2002. Вып. X. С. 175–180.

15. Правила рубок леса в Республике Беларусь: Постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 19 дек. 2016 г. № 68 [Электронный ресурс]. URL: https://pravo.by/upload/docs/op/W21631584_1483131600.pdf (дата обращения: 16.02.2021).

16. Лесной кодекс Республики Беларусь от 24 дек. 2015 г. № 332-З: принят Палатой представителей 9 дек. 2015 г. (в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.12.2018 г. № 152–З). Минск, 2015. 80 с.

References

1. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2020* [The State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2020]. Minsk, Belgosles Publ., 2020. 65 p.

2. Sekerin I. M., Shipitsina O. V., Godovalova G. A. Reforestation after regeneration fellings in pine forests. *Materialy V Vseros. nauch.-tekhn. konf. "Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii"* [Materials of the V all-Russian scientific and technical conference "Scientific creativity of youth – to the forestry complex of Russia"]. Ekaterinburg, 2009, pp. 82–84 (In Russian).

3. Zalesov S. V., Bachurina S. V. Efficiency of regeneration felling in recreational pine forests. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Altai State Agrarian University Bulletin], 2013, no. 12 (110), pp. 53–57 (In Russian).

4. Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. *Sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollyutantov ZAO "Karabashmed'", i reaktsiya ikh komponentov na provedeniye rubok obnovleniya* [The state of forest stands subject to the influence of industrial pollutants of Karabashmed CJSC, and the reaction of their components to regeneration felling]. Ekaterinburg, Ural. gos. lesotekhn. un-t Publ., 2017. 278 p.

5. *Rekomendatsii po provedeniyu rubok obnovleniya i pereformirovaniya nasazhdeniy razlichnogo tselevogo naznacheniya Respubliki Belarus'* [Recommendations for regeneration and reorganization fellings of plantings for various purposes of the Republic of Belarus]. Minsk, Minleskhoz Publ., 1999. 22 p.

6. Labokha K. V., Shiman D. V. *Lesovodstvo* [Forestry]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 440 p.

7. Kovyazin V. F., Belyayeva N. V. Renewal successions of phytocenoses after special felling. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex], 2007, no. 17, pp. 170–173 (In Russian).

8. Zalesova M. S., Terin A. A., Zalesov S. V. Silvicultural efficiency of regeneration fellings by the fringe method in pine forests emerged from tapping. *Materialy nauch.-tekhn. konf. studentov i aspirantov lesokhozyaystvennogo fakul'teta* [Materials of the scientific and technical conference of students and graduate students of the forestry faculty]. Ekaterinburg, 2004. P. 5 (In Russian).

9. Zalesov S. V. The state of the assimilation apparatus of pine growth in recreational pine forests undergone by regeneration felling. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2015, no. (6) 56, pp. 54–57 (In Russian).

10. Bugaev V. A. *Rekonstruktsiya malotsennykh lesov* [Reconstruction of low-value forests]. Voronezh, Voronezh. un-t Publ., 1991. 128 p.

11. Luganskiy N. A., Zalesov S. V., Shchavrovskiy V. A. *Lesovedeniye* [Forest science]. Ekaterinburg, UGLTA Publ., 1996. 373 p.

12. Pshenichnikova L. S., Ivanov V. V. Undergrowth preservation and its survival. Fellings of light coniferous forests. *Formirovaniye lesnykh ekosistem v usloviyakh intensivnoy lesoekspluatatsii* [Formation of forest ecosystems in conditions of intensive forest exploitation], 1998, pp. 74–84 (In Russian).

13. Petrov N. F. Consideration of the preserved undergrowth and silvicultural assessment of the cutting technology. *Vozobnovleniye i formirovaniye lesov Sibiri* [Renewal and formation of Siberian forests], 1969, pp. 169–172 (In Russian).

14. Skrigalovskaya V. A., Gordey N. V., Kozlov A. K. Natural renewal of pine phytocenoses. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2002, issue X, pp. 175–180 (In Russian).

15. *Pravila rubok lesa v Respublike Belarus'* [Forest felling rules in the Republic of Belarus.]. Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/W21631584_1483131600.pdf (accessed 16.02.2021).

16. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Code of the Republic of Belarus]. Minsk, 2015. 80 p.

Информация об авторах

Лабоха Константин Валентинович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Labokha@belstu.by

Прищепов Алексей Александрович – магистр сельскохозяйственных наук, аспирант кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

Луферов Антон Олегович – магистр сельскохозяйственных наук, начальник лесоустроительной партии РДЛУП «Гомельлеспроект» (246027, г. Гомель, ул. Встречная 1-я, 35, Республика Беларусь). E-mail: anton.luferov@tut.by

Information about the authors

Labokha Konstantsin Valentinovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Labokha@belstu.by

Prishchepov Aleksey Aleksandrovich – Master of Agriculture, PhD student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

Luferov Anton Olegovich – Master of Agriculture, Chief of Forest Inventory Party. RDLUP "Gomellesproekt" (35, Vstrechnaya 1-st str., 246027, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: anton.luferov@tut.by

Поступила 12.03.2021

УДК 630*161.32:630*907.3

В. Г. Шатравко[1], Л. Н. Рожков[2]
[1]Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь
[2]Белорусский государственный технологический университет

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА И ВЫРАЩИВАНИЯ СОСНОВОЙ ФОРМАЦИИ БЕЛАРУСИ

Рассматриваются результаты воспроизводства и сохранности сосновой формации Беларуси за 1961–2021 гг. в разрезе ее происхождения. Выявлена тенденция высокой сохранности культур сосны и значительная потеря естественного возобновления, в результате чего происходит утрата естественности сосновых лесов. Констатируется хороший уровень воспроизводства молодых лесов, при этом качественного видового состава. Последующее развитие молодняков отличается частичной сменой сосновых, еловых и твердолиственных насаждений мелколиственными формациями. Оптимальное участие насаждений главных пород в лесном фонде Беларуси рекомендуется в среднем 87,0% от площади покрытых лесом земель. Реальная доля заметно ниже – 71,0%. За последние шесть десятилетий увеличились площадь насаждений хвойных пород (+350,0 тыс. га), березовых, осиновых и других менее ценных (+1129,1 тыс. га), что нерационально. При переводе несомкнувшихся лесных культур и естественного возобновления в категорию ценных насаждений доля участия древостоев хвойных пород составляет в среднем (за последние пятьдесят лет) 71,3%. Через 10 лет после перевода эта доля сокращалась до 58,9%, через 30 лет – до 30,9% – все это недостатки ухода за лесом.

Не допустить смену коренных сосновых насаждений производными мелколиственными предлагается в рамках «*способа восстановления коренных древостоев в производных лесах*» на основе «индивидуального / очагового» метода рубок ухода за деревьями главных пород в производственных мелколиственных молодняках с незначительным участием в составе сосны и других главных пород.

Ключевые слова: воспроизводство сосновой формации, уход за лесом, смена сосняков мелколиственными, метод рубок ухода.

Для цитирования: Шатравко В. Г., Рожков Л. Н. Особенности воспроизводства и выращивания сосновой формации Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 58–65.

V. G. Shatravko[1], L. N. Rozhkov[2]
[1] Ministry of Forestry of the Republic of Belarus
[2] Belarusian State Technological University

FEATURES OF REPRODUCTION AND CULTIVATION OF THE PINE FORMATION OF BELARUS

The results of reproduction and preservation of the pine formation of Belarus for 1961–2021 in the context of its origin are considered. The trend of high preservation of pine crops and a significant loss of natural renewal, resulting in the loss of the naturalness of pine forests, is stated. There is a good level of reproduction of young forests, with a high-quality species composition. The subsequent development of young trees is characterized by a partial replacement of pine, spruce and hard-leaved stands with small-leaved formations. The optimal participation of main tree stands in the forest fund of Belarus is recommended on average 87.0% of the area of forested land. The real share is noticeably lower – 71.0%. Over the past six decades, the area of stands of coniferous species (+350.0 thousand hectares), birch, aspen and other less valuable (+1129.1 thousand hectares) has increased, which is irrational. When transferring uncollected forest crops and natural renewal to the category of valuable plantings, the share of coniferous stands is 71.3% on average (over the past fifty years). After 10 years after the transfer, this share decreased to 58.9%, and after 30 years – to 30.9%. These are the disadvantages of forest care. It is proposed to prevent the replacement of indigenous pine stands with small-leaved derivatives within the framework of the "*method for restoring indigenous stands in derived forests"* based on the "individual / focal" method of felling the care of trees of the main species in production small-leaved young trees with minor participation in the composition of pine and other main species.

Key words: reproduction of the pine formation, forest care, change of small-leaved pine forests, method of felling care.

For citation: Shatravko V. G., Rozhkov L. N. Features of reproduction and cultivation of the pine formation of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 58–65 (In Russian).

Введение. Лесорастительные условия, запрос на сырьевой, экологический и социальный ресурсы белорусских лесов безоговорочно в недалеком прошлом ориентировались на сосновые, еловые, дубовые и черноольховые насаждения как компоненты коренных (автохтонных) лесных экосистем Беларуси. В последнее время возрос интерес к березе, лиственнице, буку, пихте и некоторым другим породам. В будущем необходим пересмотр целевых пород в разрезе почвенно-типологических групп. Текущая лесохозяйственная практика на сегодняшний день руководствуется действующими Нормативами [1].

Рекомендации белорусских ученых в части оптимального участия в лесном фонде насаждений с преобладанием хвойных пород существенно не расходятся и составляют от 73,8 до 80,7% (в среднем 75,5%) от площади покрытых лесом земель [2, 3, 4].

Реальная динамика хвойных лесов заметно ниже от указанных рекомендаций [5, 6, 7]: 69,0% (1978 г.) – 66,2% (1994 г.) – 58,0% (2021 г.), притом, что Стратегические планы [8, 9] предусматривали долю хвойных лесов 73,7% на 2015 г. и 71,4% – на 2030 г.

Сосновая формация является ведущим лесообразователем для Беларуси. Запасы древесного и недревесного сырья, социально-экологические услуги сосновой формации являются решающим вкладом лесного хозяйства в экономику страны. В этой связи наблюдаемый в последние сорок лет односторонний тренд – сокращение на 10,5 процентных пунктов доли насаждений сосны в составе покрытых лесом земель заслуживает объективного анализа. Важно установить причинную связь изменений, их допустимость или опасность в меняющихся социально-экономических и погодно-климатических условиях страны.

Отдельным вопросам динамики воспроизводства и функционирования сосновой формации Беларуси посвящена настоящая публикация.

Основная часть. Анализ динамики сосновой формации, хвойных и мелколиственных насаждений выполнен на основе государственных учетов лесного фонда Белорусской ССР и Республики Беларусь [4] по состоянию на 01.01.1961 г., 01.01.1967 г. и 01.01.1994 г.; государственного лесного кадастра Республики Беларусь [6] на 01.01.2014 г. – 01.01.2021 г.; Стратегических планов лесного хозяйства [8, 9]. Использованы авторские научные публикации [1, 2, 3, 4, 10] и публикации других ученых [11, 12].

Основная часть настоящего исследования посвящена проблеме воспроизводства сосновой формации Беларуси, также затрагиваются проблемы и других главных пород.

Выбор исходного года сравнительного периода для оценки количественных и качественных характеристик развития сосновой формации республики обусловлен следующим. По состоянию на 01.01.1961 г. все леса Беларуси были пройдены лесоустройством, что позволило впервые за послевоенный период получить достоверный учет лесного фонда. Лесистость страны составила 32,2%, что близко к оптимальной. 76% общей площади лесов принадлежали государственным органам управления, остальные находились в ведении колхозов (19,9%) и прочих мелких лесофондодержателей. Деление лесов по категориям земель и группам пород, единицы измерения показателей лесного фонда сохранились без изменений. Отдельные показатели лесного фонда и сосновой формации представлены в табл. 1.

Изменения в лесном фонде Республики Беларусь, затронувшие также сосновую формацию, происходили под влиянием ряда факторов.

Таблица 1

Сравнительная динамика показателей лесного фонда и сосновой формации за 60-летний период

Наименование показателей	Единица измерения	Год учета		Изменения, +
		1961	2021	
1. Общая площадь лесного фонда	тыс. га	8 014	9 690	1 676
2. Лесные земли	тыс. га	7 200	8 883	1 683
В том числе потенциальная площадь сосновой формации	тыс. га	3 292	4 376	1 084
3. Покрытые лесом земли	тыс. га	6 687	8 334	1 647
В том числе сосновая формация (насаждения сосны)	тыс. га	3 109	4 063	954
4. Несомкнувшиеся лесные культуры	тыс. га	90	252	162
В том числе несомкнувшиеся культуры сосновой формации	тыс. га	72	171	99
5. Не покрытые лесом земли	тыс. га	202	296	94
В том числе естественное возобновление сосновой формации	тыс. га	183	313	130
6. Общий запас насаждений	тыс. $м^3$	470 170	1 857 585	1 387 414
В том числе сосна	тыс.$м^3$	239 400	1 013 713	774 313
7. Средний запас насаждений	$м^3$/га	70	223	153
8. Средний запас насаждений сосновой формации.	$м^3$/га	77	249	172

Во-первых, они связаны с изменениями землепользования в порядке передачи сельскохозяйственных земель в лесной фонд. В результате за истекшие 60 лет увеличилась общая площадь лесного фонда на 1676 тыс. га (+ 20,9%), включая лесные земли – на 1683 тыс. га (+ 23,4%). Тем самым увеличилась потенциальная площадь сосновой формации лесного фонда на 1084 тыс. га (+ 32,9%). Заметим, что потенциальная площадь сосновой формации (далее – **ППСФ**) устанавливается при базовом лесоустройстве на основе принятых целевых пород для почвенно-типологических групп [1]. ППСФ включает в себя собственно сосновую формацию (насаждения сосны) и земли воспроизводства сосновой формации (несомкнувшиеся лесные культуры сосны и естественное возобновление сосны на не покрытых лесом землях).

Во-вторых, другие факторы связаны с лесохозяйственной деятельностью и антропогенным воздействием. Среди них методы лесовосстановления и ухода за лесом; качество уходов за возобновлением и насаждениями; переход из сосновой в другие формации; лесопользование с производством рубок леса; естественные и антропогенные воздействия на лесную экосистему (лесные пожары, гибель лесов от болезней и вредителей леса, неблагоприятные погодно-климатические условия и др.). Результатом этих факторов явились следующие, в целом положительные, изменения. Доля ППСФ в составе лесных земель увеличилась на 3,6 пп и составила в 2021 г. 49,3%. Возросла доля сосновой формации в породной структуре лесов на 2,3 пп (48,8% в 2021 г.). Увеличились общий запас насаждений сосновой формации в 4,2 раза (+ 774,3 млн м^3) и средний запас в 3,2 раза (+ 172 м^3/га).

На фоне положительных изменений площади и продуктивности сосновой формации происходит утрата естественности сосновых лесов. По состоянию на 01.01.1961 г. лесные культуры занимали 10,7% сосновых насаждений. Сегодня лесные культуры занимают 38,6% (+ 27,9 пп), а с учетом несомкнувшихся лесных культур – 39,7% (+ 29,0 пп) площади сосновой формации. Это является результатом выполненных в последние шесть десятилетий объемов и методов воспроизводства сосны (табл. 2).

При общем объеме воспроизводства 1291,5 тыс. га на создание лесных культур приходится 82,8%. С учетом того, что несомкнувшиеся культуры сосны на 01.01.2021 г. составляют 171,0 тыс. га, за 1961–2020 гг. было создано 898,0 тыс. га сосновых насаждений искусственного происхождения. По данным Государственного лесного кадастра на 01.01.2021 г., сосновые леса искусственного происхождения составляют 1567,45 тыс. га. Увеличение по отношению к 1961 г. составило 852,45 тыс. га. Сохранность в лесном фонде за шесть десятилетий 94,9% лесных культур сосны (минус 45,55 тыс. га) является весьма высоким показателем.

Объемы переводов естественного возобновления сосны в категорию ценных лесных насаждений в учетах лесного фонда не представлены. Косвенные расчеты создания ценных сосновых насаждений за счет планируемых объемов естественного воспроизводства с мерами содействия или без них указывают на следующее.

По состоянию на 01.01.1961 г. ППСФ составляла 3292,0 тыс. га. Объем воспроизводства сосновой формации за 1961–2013 гг. составил 1060,9 тыс. га; воспроизводство за 2014–2020 гг. считаем в процессе возобновления сосны. Ожидаемая на 01.01.2021 г. площадь сосновых насаждений составляет 4352,9 (3292,0 + 1060,9) тыс. га. Фактически оказалось 4063 тыс. га. Расчетная «убыль» сосновой формации за 1961–2021 гг. составила 289,9 тыс. га. Ожидаемая расчетная сохранность сосновых насаждений естественного и искусственного происхождения на 22,2 пп ниже сохранности культур сосны.

Таблица 2

Динамика воспроизводства сосновой формации

Учетный период, годы	Объем воспроизводства, тыс. га	В том числе методы воспроизводства, тыс. га		
		лесные культуры	содействие естественному возобновлению	естественное лесозаращивание
1961–1983	551,8	526,2	9,9	15,7
1984–1993	139,7	109,5	8,2	22,0
1994–2003	90,7	57,9	12,0	20,8
2004–2013	278,7	190,2	24,1	64,4
2014–2020	230,6	185,2	15,1	30,3
Всего, 1961–2020	1291,5	1069,0	69,3	153,2

Выводом из анализа динамики формирования сосновой формации является потеря до 27,3% объемов ее воспроизводства для восстановления «убыли» в силу различных причин. Причины были оговорены ранее. К сожалению, дать количественную оценку насаждений в разрезе причин их «убыли» не представляется возможным. Заметим, что наибольшие потери, похоже, приходятся на сосновые насаждения естественного происхождения в процессе возобновления и возрасте молодняков. При недостаточных уходах за естественным возобновлением и молодыми насаждениями происходит смена сосновой формации повислоберезовой и другими мелколиственных пород. Об этом свидетельствуют нижеприведенные данные.

Результаты лесовосстановления и лесоразведения в республике говорят о хорошем уровне воспроизводства лесов и их качественного породного состава. Анализ показал, что за последние 50 лет исходная доля участия хвойных древостоев при переводе в категорию ценных насаждений (т. е. в покрытые лесом земли) составила в среднем 71,3%.

Развитие хвойных молодняков, переведенных в покрытые лесом земли, в последующем, к сожалению, отличается заметным сокращением хвойных в пользу мелколиственных (в среднем):

– через 10 лет после перевода доля хвойных пород в этих древостоях сокращается до 58,5%;

– через 30 лет хвойных пород в составе древостоев ≈ 30,9%.

Это неожиданный результат развития хвойных молодняков и ухода за лесом на этапах осветлений, прочисток и первых прореживаний.

Необходима объективная глубокая научная оценка ухудшения казалось бы качественно выполненного воспроизводства молодых лесов.

Основная причина – недостаточные объемы и несоответствующие методы рубок ухода за молодняками. Береза, осина, ольха серая – породы быстрорастущие, возобновляются порослью, отпрысками. Тут при рубках ухода лишь с повторяемостью 2 раза за сезон и ежегодно можно сохранить сосновый молодняк. Очевидно, что заглушение сосны мелколиственными – неизбежный процесс. Переход части хвойных молодняков, прежде всего сосняков, в мелколиственные − объективная реальность.

Авторы сделали попытку установить некоторые характеристики мелколиственных древостоев, что образовались на месте ценных хвойных после их перевода в покрытые лесом земли. Базой анализа явились все молодняки в возрасте до 20 лет включительно (1677 га) Негорельского учебно-опытного лесхоза. И вот результат (табл. 3).

Мелколиственные древостои возрастом до 20 лет включительно с участием главных пород в составе занимают 12,5% площади древостоев всех пород этого возраста. Преобладают древостои с участием 1 единицы сосны, ели или других главных пород в составе (66,9%) и 2 единиц (32,2%). Достоверность выборки и ее верификацию на весь лесной фонд республики оставим без комментария, но вывод согласуется с ранее выявленным переходом части сосновых молодняков в мелколиственные насаждения.

Смешанные производные мелколиственные древостои с участием хвойных пород возникают в результате вырубки коренных лесов. Возобновляемые на вырубках лесные сообщества образуют фитогенную мозаичность. В структуре такого лесного фитоценоза отдельные исследователи [11] выделяют микрогруппировки, микроценозы, ценопопуляции, консорции, синузии (А. А. Гроссгейм, 1929; П. Д. Ярошенко, 1931; Н. Наумов, 1963). Н. В. Дылис [12], рассматривая мозаичность лесного сообщества как в горизонтальном, так и вертикальном направлении, выделяет *парцеллы*. Рассматриваемые одиночные экземпляры или группы хвойных и других главных пород в мелколиственных древостоях, по существу, являются парцеллами.

Мелколиственных молодняков, имеющих в составе от 1 до 3 единиц хвойных пород, достаточно много. Проведение рубок ухода за сосной, елью и дубом в таких насаждениях не допускается. Согласно действующим Правилам рубок леса [13], они заслуживают реконструкции. Но насколько это целесообразно по затратам, тем более что после реконструктивных рубок необходимо создавать лесные культуры [14]. Обратим внимание на следующее.

Таблица 3

Характеристики мелколиственных древостоев в возрасте до 20 лет с участием главных пород в составе (Негорельский учебно-опытный лесхоз)

Показатель	Величина и содержание показателей
1. Площадь мелколиственных древостоев с участием главных пород в составе	− 12,5% от площади всех древостоев в возрасте до 20 лет включительно; − 18,6% от площади мелколиственных древостоев в возрасте до 20 лет включительно
2. Площадь мелколиственных древостоев с участием сосны в составе	40,0% от площади мелколиственных древостоев с участием главных пород

Окончание табл. 3

Показатель	Величина и содержание показателей
3. Площадь мелколиственных древостоев с участием:	
1 единица главных пород в составе	– 66,9% от площади мелколиственных древостоев с участием главных пород в составе
2 единицы главных пород в составе	– 32,2% от площади мелколиственных древостоев с участием главных пород в составе
3 единицы главных пород в составе	– 0,9% от площади мелколиственных древостоев с участием главных пород в составе
4. Средняя площадь участка мелколиственных древостоев с участием главных пород в составе	1,68 га
5. Доля участков площадью ≤ 0,5 га от площади мелколиственных древостоев с участием главных пород в составе	6,6%

Модальные сосновые древостои II бонитета в возрасте 90 лет имеют густоту 300–350 стволов на гектар. В мелколиственном древостое 8Б2С возрастом 10 лет и полнотой 0,4 количество стволов сосны составляет около 600 шт./га. Действующие нормативы не позволяют проводить осветления / прочистки в таких насаждениях. Они подлежат реконструкции. При уходе за отдельными экземплярами и группами главных пород, не охватывая участок сплошным уходом, можно сформировать к возрасту главной рубки высокопродуктивный смешанный древостой с преобладанием главных пород, при относительно невысоких затратах.

Не допустить замену ценных насаждений на производные мелколиственные при естественном воспроизводстве коренных древостоев можно на основе новых методов рубок ухода за лесом.

Традиционным в лесоводстве объектом рубки ухода является насаждение. Мы предлагаем проводить рубки ухода за структурно обособленными частями смешанных мелколиственных молодняков – парцеллами или биогруппами коренных пород в производных древостоях.

Применительно к рассматриваемому вопросу, термин «парцелла» [12] мы считаем тождественным термину «биогруппа». Парцеллы являются структурными частями горизонтального и вертикального расчленения смешанного производного насаждения. Парцеллы / биогруппы на фоне преобладания мелколиственных элементов представлены одиночными экземплярами или группами сосен, елей, дубов и других коренных пород.

Предлагаемый ***«способ восстановления коренных древостоев в производных лесах»*** как лесохозяйственное мероприятие является одним из видов ухода за лесом. Объектом ухода выступают биогруппы / парцеллы коренных пород среди преобладающих мелколиственных элементов в производном насаждении.

Методом ухода является формирование микробиотопов достаточных размеров, не допускающих со стороны окружающих деревьев и кустарников затенения и механического воздействия на объекты ухода. Таким образом, кроме традиционных в лесоводстве *рубок ухода за насаждениями*, предлагается для низкополнотных *мелколиственных молодняков* при участии в составе 1–3 единиц главных пород допустить *«очаговые» или индивидуальные рубки ухода за главными породами.* Подчеркнем различие: уход не за насаждением, а за главными породами. Отбор деревьев в рубку (т. е. метод рубок) осуществляется в биогруппах произрастания деревьев главной породы среди мелколиственных пород.

Средством ухода является вырубка конкурентных растений из числа мелколиственных деревьев и кустарников в пределах микробиотопов коренных пород. Вырубаемая мотокусторезами древесно-кустарниковая растительность подлежит измельчению и приземлению.

Повторяемость приемов ухода – от 2 до 3 лет. Количество приемов ухода – от 3 до 5. Период ухода – до 15 лет. Не исключается совмещение ухода за коренными породами и рубок ухода за мелколиственными элементами производного насаждения.

Прогнозируется до 25-летнего возраста перевод производного насаждения в смешанное хвойное с долевым участием в составе не менее 4 единиц коренных пород. В последующем насаждение является объектом рубок ухода (прореживание, проходная рубка) и других мер ухода за лесом, исходя из возрастной и породной структуры насаждения и нуждаемости в мероприятиях при лесовыращивании. Смешанное хвойно-лиственное насаждение естественного происхождения отличается высокой пожаробезопасностью и повышенной устойчивостью к воздействию фитопатогенов и вредных насекомых.

Руководствуясь предлагаемым «способом восстановления коренного древостоя в произ-

водных лесах», реально сформировать из малоценного производного 10–20-летнего мелколиственного насаждения с участием в составе от 1 до 3 единиц коренных хвойных видов высокопродуктивный смешанный древостой с преобладанием до 8 и более единиц хвойных пород при относительно небольших затратах.

Резюмируя материалы статьи, отметим справедливость пророческих слов Г. Ф. Морозова «...вопрос о возобновлении сосны является «больным вопросом» нашей лесохозяйственной деятельности...» с последующим добавлением «...все способы рубки применяются к сосновым лесам, причем – что именно и характерно – каждый из них сопровождается в одних случаях успехом, в других неуспехом.» (Из выступления на XI Всероссийском лесном съезде в Туле, 1909 г. [15, с. 362].

Заключение. Сосновая формация является ведущим лесообразователем Беларуси, занимая 48,8% площади покрытых лесом земель с общим запасом 1013,7 млн м^3 (54,6% от всего по республике). Динамика сосновой формации за последние шесть десятилетий характеризуется положительными изменениями. Потенциальная площадь сосновой формации увеличилась на 1084 тыс. га (+ 32,9%), в том числе покрытая лесом на 954 тыс. га (+ 30,7%). Общий запас насаждений увеличился на 774,3 тыс. м^3 (+ 323,4%) и средний запас на 172 м^3/га (+ 223,4%). Выросла площадь лесных культур сосны в составе формации на 852,45 тыс. га (+ 119,2%), тем самым снизилась естественность сосновых лесов на 101,3 тыс. га (– 4,2%).

Общий объем воспроизводства сосновой формации за 1961–2021 гг. составил 1295 тыс. га, в том числе лесные культуры – 82,8%. Сохранность лесных культур сосны, переведенных в категорию ценных насаждений, составила 94,9% за шесть десятилетий, что является весьма высоким показателем. Предполагаемая «убыль» сосновой формации как разность между объемом воспроизводства и изменением ее площади, по данным государственного учета лесов, за 1961–2021 гг. составила 289,9 тыс. га (–27,1%). Причины установить сложно. Среди них можно отметить гибель сосновых насаждений от болезней, вредных насекомых, пожаров, неблагоприятных антропогенных и погодно-климатических воздействий и других факторов. В значительной мере это следствие недостаточных уходов и неправильно применяемых методов рубок ухода за естественным возобновлением и молодыми сосновыми насаждениями естественного происхождения. В результате в лесном фонде республики наблюдается частичная смена сосновой формации повислоберезовой и другими мелколиственных пород.

Анализ показал, что за последние пятьдесят лет при переводе несомкнувшихся лесных культур и естественного возобновления в категорию ценных насаждений доля участия древостоев хвойных пород составила в среднем 71,3%. Это свидетельствует о хорошем уровне работы по воспроизводству лесов качественного породного состава.

Последующее развитие хвойных молодняков в составе покрытых лесом земель отличается заметной сменой хвойных мелколиственными. Через 10 лет после перевода доля хвойных насаждений сокращается в среднем до 58,9%, через 30 лет до ~ 30,9%.

Не допустить смену коренных ценных насаждений производными мелколиственными возможно на основе новых методов ухода за лесом.

Предлагается ***«способ восстановления коренных древостоев в производных лесах»*** как лесохозяйственное мероприятие по уходу за лесом. Объектом ухода являются биогруппы / парцеллы коренных пород среди преобладающих мелколиственных элементов в производном насаждении. Методом ухода выступает формирование микробиотопов достаточных размеров, не допускающих со стороны окружающих деревьев и кустарников затенения и механического воздействия на объекты ухода. Средством ухода является вырубка конкурентных растений из числа мелколиственных деревьев и кустарников в пределах микробиотопов коренных пород.

Прогнозируется до 25-летнего возраста перевод производного насаждения в смешанное хвойное с долевым участием в составе не менее 4 единиц коренных пород. В последующем насаждение является объектом рубок ухода (прореживание, проходная рубка) и других мер ухода за лесом исходя из возрастной и породной структуры насаждения и нуждаемости в мероприятиях при лесовыращивании.

Руководствуясь предлагаемым «способом восстановления коренного древостоя в производных лесах», реально сформировать из малоценного производного 10–20-летнего мелколиственного насаждения с участием в составе от 1 до 3 единиц коренных хвойных видов высокопродуктивный смешанный древостой с преобладанием до 8 и более единиц хвойных пород при относительно небольших затратах.

Список литературы

1. Рожков Л. Н., Штейнбок А. Г., Ходорович А. И. Метод ведения устойчивого экологически ориентированного лесного хозяйства с формированием коренных древостоев на почвенно-типологической основе // Научно-техническая информация в лесном хозяйстве. 2003. Вып. 10. С. 5–32.

2. Рожков Л. Н., Ермаков В. Е., Ловчий Н. Ф. Динамика и состояние сосновых лесов Беларуси // Труды БГТУ. Сер. I: Лесное хоз-во. 2005. Вып. VIII. С. 7–13.

3. Рожков Л. Н. Проблемы воспроизводства сосны в Беларуси // Лесное и охотничье хозяйство. 2003. № 2. С. 6–7.

4. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Воспроизводство сосновой формации Беларуси в свете сохранения микропопуляционного разнообразия на уровне эдафоклиматипов. Проблемы лесоведения и лесоводства // Сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Вып. 75. Гомель, 2015. С. 126–138.

5. Государственный учет лесного фонда на 01.01.1961 г., 01.01.1967 г., 01.01.1994 г. Минск.

6. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь на 01.01.2014 г., 01.01.2016 г., 01.01.2017 г., 01.01.2018 г., 01.01.2019 г., 01.01.2020 г. и 01.01.2021 г. Минск.

7. Шатравко В. Г. Современное состояние и перспективы развития лесного хозяйства Республики Беларусь: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию ИЛ НАН Беларуси, 13–15 нояб. 2020 г. Гомель: Ин-т леса, 2020. С. 7–11.

8. Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси. Минск: Минлесхоз, 1997. 178 с.

9. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 годы: утв. 23.12.2014 г. Минск, 2015. 20 с.

10. Рожков Л. Н., Шатравко В. Г. Углеродный баланс на этапе формирования молодого насаждения в связи со способом главной рубки леса // Труды БГТУ. Сер 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 2. С. 66–73

11. Ярошенко П. Д. Общая биогеография. М.: Мысль, 1975. 188 с.

12. Дылис Н. В. Структура лесного биогеоценоза. М.: Наука, 1969. 54 с.

13. Правила рубок леса в Республике Беларусь (с изм. согласно Постановлению М-ва лесного хоз-ва от 19 дек. 2016 г. № 8).

14. Дерябин Д. И., Кулаков К. Ф., Новосельцева А. И., Атрохин В. Г. Способы реконструкции малоценных лесных насаждений. М.: Лесная пром-сть 1976. 176 с.

15. Морозов Г. Ф. Избранные труды. В 2 т. М.: Лесная пром-сть, 1971. Т. 2. С. 536.

References

1. Rozhkov L. N., Shteynbok A. G., Hodorovich A. I. A method of conducting sustainable environmentally oriented forestry with the formation of indigenous stands on a soil-typological basis. *Nauchnotekhnicheskaya informatsiya v lesnom khozyaystve* [Scientific and technical information in forestry], 2003, vol, 10, pp. 5–32 (In Russian).

2. Rozhkov L. N., Ermakov V. E., Lovchiy N. F. Dynamics and condition of pine forests in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2005, issue XIII, pp. 7–13 (In Russian).

3. Rozhkov L. N. Problems of pine reproduction in Belarus. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2003, no. 2, pp. 6–7 (In Russian).

4. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F. Reproduction of the pine formation of Belarus in the light of the preservation of micropopulation diversity at the level of edaphoclimatypes. Problems of forest science and forestry. *Sb. nauch. tr. IL NAN Belarusi* [Collection of proceedings IL NAS of Belarus], 2015, vol. 75, pp. 126–138 (In Russian).

5. *Gosudarstvennyy uchet lesnogo fonda na 01.01.1961 g., 01.01.1967 g., 01.01.1994g.* [State accounting of the forest fund for 01.01.1961, 01.01.1967, 01.01.1994]. Minsk.

6. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' na 01.01.2014 g., 01.01.2016 g., 01.01.2017 g., 01.01.2018 g., 01.01.2019 g., 01.01.2020 g. i 01.01.2021 g.* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus for 01.01.2014, 01.01.2016, 01.01.2017, 01.01.2018, 01.01.2019, 01.01.2020 and 01.01.2021]. Minsk.

7. Shatravko V. G. Current state and prospects of forestry development in the Republic of Belarus. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu IL NAN Belarusi* [Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the IL NAS of Belarus]. Gomel', 2020, pp. 7–11 (In Russian).

8. *Strategicheskiy plan razvitiya lesnogo khozyaystva Belarusi* [Strategic plan for the development of forestry in Belarus]. Minsk, Minleskhoz Publ., 1997. 178 p.

9. *Strategicheskiy plan razvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period s 2015 po 2030 gody* [Strategic plan for the development of the forestry industry for the period from 2015 to 2030]. Minsk, 2015. 20 p.

10. Rozhkov L. N., Shatravko V. G. Carbon balance of the stage of young stands formation in relation to the metod of the final felling. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2, pp. 66–73 (In Russian).

11. Yaroshenko P. D. *Obshchaya biogeografiya* [General biogeography]. Moscow, Mysl' Publ., 1975. 188 p.

12. Dylis N. V. *Struktura lesnogo biogeotsenoza* [Structure of forest biogeocenosis]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 54 p.

13. *Pravila rubok lesa v Respublike Belarus'* [Rules of logging in the Republic of Belarus]. Minsk, 2016.

14. Deryabin D. I., Kulakov K. F., Novosel'tseva A. I., Atrohin V. G. *Sposoby rekonstruktsii malotsennykh lesnykh nasazhdeniy* [Methods of reconstruction of low-value forest stands]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1976. 176 p.

15. Morozov G. F. *Izbrannyye trudy* [Selected works]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1971, vol. 2. 536 p.

Информация об авторах

Шатравко Валентин Геннадьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, первый заместитель Министра лесного хозяйства Республики Беларусь. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (220048, г. Минск, ул. Мясникова, 39, Республика Беларусь). E-mail: vshatravko@mail.ru

Рожков Леонид Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rozhkov@ belstu.by

Information about the authors

Shatravko Valentin Gennad'yevich – PhD (Agriculture), First Deputy Minister of Forestry of the Republic of Belarus. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39, Myasnikova str., 220048, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vshatravko@mail.ru

Rozhkov Leonid Nikolaevich – DSc (Agriculture), Professor, Professor, the Department of Silviculture. Belarussian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rozhkov@ belstu.by

Поступила 12.03.2021

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ
FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING

УДК 630*232.4:631.543.2

В. К. Гвоздев, А. П. Волкович
Белорусский государственный технологический университет

ЛЕСОВОДСТВЕННОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ

Исследования проведены в лесных культурах ели европейской, созданных в 1985 г. саженцами 4-летнего возраста с разной густотой посадки – 3 300, 5 000, 6 700 и 15 600 шт./га. Приведено обоснование использования в качестве показателей объективной оценки успешности роста насаждений при выполнении различных лесохозяйственных мероприятий величины радиального прироста, а также запасов и структуры надземной фитомассы.

Установлено, что величина радиального прироста на всех возрастных этапах формирования насаждений значительно выше в лесных культурах с первоначальной густотой 3 300 шт./га. В среднем по сравнению с густыми культурами (15 600 шт./га) этот показатель выше на 30–50%, а в отдельные годы – более чем в 2 раза. За весь период роста лесных культур в зависимости от тенденций изменения годичного прироста выделено три периода изменения радиального прироста, для которых характерны свои особенности формирования.

Приведены данные о запасах и структуре фитомассы по всем вариантам опыта. Установлено, что на стадии обострения внутривидовой конкуренции и интенсивного отпада запасы надземной фитомассы, в том числе и стволовой древесины, значительно выше в редких культурах (3 300 шт./га) и составляют 340,5 т/га, что в 2,3 раза превышает аналогичный показатель для густых культур. В качестве результирующих показателей успешности роста лесных культур ели разной густоты посадки проанализированы основные таксационные показатели древостоев.

Ключевые слова: ель европейская, густота посадки, радиальный прирост, запасы фитомассы, таксационные показатели, успешность роста.

Для цитирования: Гвоздев В. К., Волкович А. П. Лесоводственное обоснование оптимальной густоты посадки лесных культур ели европейской // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 66–72.

V. K. Gvozdev, A. P. Volkovich
Belarusian State Technological University

FORESTRY INVESTIGATION OF OPTIMAL PLANTING DENSITY OF FOREST CULTURES OF EUROPEAN SPRUCE

The research was carried out in forest cultures of European spruce, created in 1985 by 4-year-old seedlings with different planting density – 3 300, 5 000, 6 700 and 15 600 pcs/ha. The research grounding is given for using the value of radial growth, as well as the growing stock and structure of aboveground phytomass, as an indicator of an objective assessment of the success of plant growth during various forestry activities.

It was found that the value of radial growth at all age stages of the formation of plantings is significantly higher in forest cultures with an initial density of 3300 pcs/ha. On average, in comparison with dense cultures (15 600 pcs/ha), this indicator is higher by 30–50%, and in some years – more than 2 times. For the entire period of growth of forest cultures, depending on the trends of changes in annual growth, three periods of changes in annual growth in diameter are distinguished, which are characterized by their own trends in formation.

Data on the growing stock and structure of phytomass for all variants of the experiment are given. It was found that at the stage of exacerbation of intraspecific competition and intensive tree mortality, the growing stock of aboveground phytomass, including stem wood, are significantly higher in rare cultures (3 300 pcs/ha) and amount to 340.5 t/ha, which is 2.3 times higher than the same indicator for dense cultures. As the resulting indicators of the success of the growth of spruce forest cultures of different planting densities, the main forest mensuration indexes of forest stands have been analyzed.

Key words: European spruce, planting density, radial growth, phytomass growing stock, forest mensuration indexes, growth success.

For citation: Gvozdev V. K., Volkovich A. P. Forestry investigation of optimal planting density of forest cultures of European spruce. *Proceeding of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 66–72 (In Russian).

Введение. Основным направлением лесовосстановления в Республике Беларусь является искусственное лесовосстановление путем создания лесных культур посадкой и посевом. В 2020 г. в системе лесного хозяйства Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь создано 38,87 тыс. га лесных культур, что составляет 83,3% от общей площади проведенных работ по лесовосстановлению и лесоразведению [1]. Эффективность искусственного лесовосстановления в значительной степени определяется густотой культур и характером размещения посадочных мест на лесокультурной площади (схемой посадки). Густота посадки оказывает свое влияние на протяжении всех фаз искусственного возобновительного процесса. Многочисленными исследованиями установлено, что густота посадки лесных культур и характер размещения посадочных мест предопределяют сроки смыкания растений в рядах и междурядьях, а следовательно, характер и количество уходов за ними; дифференциацию деревьев и естественное изреживание насаждений и сроки начала проведения лесоводственных уходов; ход роста по высоте, диаметру, запасу, а также биологическую продуктивность насаждений; общую продуктивность и размер промежуточного пользования, устойчивость насаждений к неблагоприятным факторам внешней среды [2–4 и др.]. Поэтому, принимая во внимание эти обстоятельства, необходимо при создании и выращивании лесных культур добиваться оптимальной густоты и равномерного размещения посадочных мест на лесокультурной площади. В таком случае создаются благоприятные предпосылки для оптимизации почвенного и светового питания, которые позволяют культурам в процессе роста полностью реализовать свой генетически обусловленный потенциал [2]. Общепризнано, что только при оптимальной густоте достигается максимальная продуктивность насаждений. Любое отклонение от оптимальной густоты ведет к явно выраженному снижению текущего прироста и общей продуктивности насаждений [5].

Для установления оптимальных схем размещения посадочных мест при создании лесных культур ВНИИЛМ и Союзгипролесхоз в свое время разработали критерии оценки оптимальной площади питания растений в несомкнувшихся сосновых и еловых культурах. Для этого они предложили применять коэффициент использования площади питания (КИПП) выращиваемым древостоем, определяемый по формуле:

$$\text{КИПП} = \frac{10 \cdot A}{N \cdot B},$$

где A – расстояние между растениями в рядах, м; N – густота посадки сеянцев или саженцев, тыс. шт/га; B – ширина междурядий, м.

Установлено, что при величине КИПП от 0,6 до 1,2 структура древостоя обеспечивает оптимальные условия для интенсивного роста всех растений от посадки до смыкания и позволяет сформировать высокопродуктивные насаждения. Величина КИПП меньше 0,5 свидетельствует о том, что площадь питания древостоем используется полностью и после смыкания крон следует провести рубки ухода. При величине КИПП более 1,3 густота посадки не обеспечивает полного использования древостоем площади питания. Предложенная методика рекомендована для применения в зоне смешанных лесов на дерново-подзолистых суглинистых свежих и влажных почвах [2].

Многочисленными исследованиями установлено, что оптимальная густота – понятие динамическое. В возрастной динамике с увеличением возраста наблюдается изменение величины оптимальной густоты в сторону уменьшения [2, 3, 5]. В связи с этим разработаны рекомендации по оптимальной густоте культур основных лесообразующих пород на разных возрастных этапах. Для условий Беларуси подобные исследования проведены О. В. Герасимовичем, который детально обосновал показатели оптимальной густоты лесных культур сосны и ели в начальной фазе формирования насаждений – до 10-летнего возраста. Им установлено, что наиболее интенсивный естественный отпад в культурах со средней исходной густотой 6,5 тыс. шт./га наблюдается в первые два года жизни в фазе приживания растений. В культурах сосны обыкновенной он достигает 20, а ели европейской – 18%. К 10 годам отпад увеличивается и составляет в среднем 1/3 от количества первоначально высаженных растений [6].

Проблема установления оптимальной густоты посадки основных лесообразующих пород при искусственном лесовосстановлении была и остается объектом исследований и дискуссий как в научном мире, так и в практике лесного хозяйства. Однако до настоящего времени

нет единого мнения в этой области, что, вероятно, следует объяснить целым рядом причин: разнообразными условиями местопроизрастания, целевым назначением насаждений, возможностью проведения качественных и своевременных агротехнических и лесоводственных уходов, а также переработки и реализации мелкотоварной древесины и др.

Целью работы является лесоводственное обоснование оптимальной густоты посадки лесных культур ели европейской саженцами на основе длительных 35-летних исследований на стационарном опытном объекте.

Основная часть. Стационарный опытный объект был создан в 1985 г. в Негорельском учебно-опытном лесхозе в типе лесорастительных условий B_2. Почва на участке дерново-подзолистая рыхлосупесчаная. Лесные культуры ели европейской создавались вручную четырехлетними саженцами по сплошь обработанной почве, которой предшествовала корчевка и уборка пней после вырубки елового насаждения с примесью березы и осины, по четырем вариантам опыта: густота посадки 3,3; 5,0; 6,7; 15,6 тыс.шт./га с соответствующим размещением посадочных мест 3×1 м, 2×1 м, 1,5×1 м, 0,8×0,8 м. Для получения достоверных данных при размещении эксперимента на участке были использованы рекомендации по планированию эксперимента. Все варианты опыта в трехкратной повторности (размер секций 30×20 м) были размещены методом латинского прямоугольника [7]. В течение последующих 5 лет за посадками проводились своевременные агротехнические уходы. За весь период выращивания лесных культур в насаждении периодически (по мере образования) убирались усохшие, снеголомные и буреломные деревья.

В качестве критериев обоснования различий в формировании насаждений разной густоты посадки авторами были определены различные показатели, которые рекомендованы многими исследователями к использованию для оценки эффективности лесохозяйственных мероприятий (в данном случае густоты посадки): динамика радиального прироста, структура и запас надземной фитомассы, изменение основных таксационных показателей древостоев.

Результаты проведенных многочисленных исследований позволяют сделать вывод о том, что радиальный прирост деревьев является точным и объективным показателем, отражающим реакцию деревьев на изменение факторов окружающей среды и на проведенные лесохозяйственные мероприятия (рубки ухода, внесение минеральных удобрений, биологическая мелиорация и др.) [9–12]. Особенно часто этот показатель используется в дендроклиматологии и дендрохронологии. Так, Л. А. Кайрюкштис и А. И. Юодвалькис установили, что при исследованиях взаимосвязи прироста деревьев с климатическими условиями необходим дифференцированный подход к факторам климата (температура, влага, свет) и их учет лишь в те периоды вегетации, в которые они непосредственно оказывают влияние на образование годичного прироста. На основании 13-летних исследований динамики и продолжительности сезонного роста установлена зависимость величины радиального прироста и продолжительность сезонного роста от факторов внешней среды в отдельные этапы вегетационного периода [8].

Й. А. Карпавичюсом была изучена индивидуальная и групповая изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной в подзоне смешанных лесов. Получена достоверная информация об индивидуальной и групповой изменчивости годичных слоев и их составляющих ранней и поздней древесины. Установлены различия в воздействии элементов климата на радиальный прирост ранней и поздней древесины. Выяснено, что одним из главных факторов, от которого зависит радиальный прирост сосны, является температурный режим текущего года [9].

В. М. Горячевым были проведены исследования по изучению формирования годичного кольца деревьев разных пород на Среднем Урале. Были установлены сроки начала и окончания деятельности камбия, формирования поздней древесины, а также периода максимального прироста и скорости нарастания годичного слоя древесины у ели сибирской, пихты сибирской, кедра сибирского и березы повислой при их совместном произрастании в разных лесорастительных условиях. Произведена оценка влияния фитоценотических и климатических факторов на динамику сезонного прироста древесины [10].

В. В. Сарнацким изучены зависимости ширины годичного кольца деревьев от количества атмосферных осадков и температуры воздуха в различные годы: с повышенной температурой воздуха и дефицитом атмосферных осадков; пониженной температурой воздуха и дефицитом атмосферных осадков; пониженной среднемноголетней температурой воздуха вегетационных периодов различных лет и типов леса. Установлена обусловленность годичного радиального прироста для сосны обыкновенной, ели европейской, березы повислой и ольхи черной, произрастающих в условиях Беларуси [11].

Е. В. Дегтяревой и А. А. Болботуновым радиальный прирост по диаметру был использован как количественный показатель оценки состояния древостоев на территории санитарно-защитной зоны г. Новополоцка. Исследователями

были выявлены реакции ширины годичного кольца деревьев хвойных пород на аэротехногенное загрязнение, гидромелиорацию, внесение удобрений. Установлено уменьшение ежегодного радиального прироста у деревьев хвойных пород в период наибольших промышленных выбросов. Исследователи делают вывод о том, что динамика радиального прироста может служить реальным обоснованием для текущего и среднесрочного планирования лесохозяйственных мероприятий. Согласно выполненным исследованиям и сделанным прогнозам, в 20-е гг. текущего столетия ожидается спад прироста у сосны, особенно на верхних элементах рельефа [12].

Проведенный выше обзор основных направлений использования в научных исследованиях такого показателя, как радиальный прирост деревьев, убедительно показывает его универсальность и точность при оценке различных воздействий на древостой, в том числе при выявлении результативности проведенных лесохозяйственных мероприятий. В связи с этим мы использовали данный показатель для обоснования оптимальной густоты посадки при производстве лесных культур ели европейской саженцами. Выявление особенностей формирования радиального прироста и накопления надземной фитомассы в 35-летних культурах ели произведено по методике, разработанной А. А. Молчановым и В. В. Смирновым [13]. При этом в каждом варианте опыта отбирали 3 модельных дерева, срезали их и раскряжевывали на 2-метровые отрезки. Затем брали выпилы для последующих измерений, которые предварительно отшлифовывались и при помощи сканера заносились в компьютер. Их изображения обрабатывались в программе Photoshop: производилась разметка срезов и их измерение. На основании полученных данных была построена диаграмма изменений годичного прироста по диаметру модельных деревьев за 35 лет по четырем вариантам опыта (рис. 1).

Результаты исследований показывают, что в динамике изменений радиального прироста можно выделить три периода:

1-й период – до биологического возраста лесных культур 15 лет (1995 г. на графике) отслеживается тенденция постепенного уменьшения ширины годичных слоев независимо от густоты посадки. В отдельные годы наблюдаются отклонения от этой закономерности, что связано, видимо, с количеством осадков и температурным режимом во время вегетации. Во все годы этого периода наблюдений наибольший радиальный прирост прослеживается в редких культурах с густотой посадки 3 300 шт./га, который варьирует от 0,3 до 0,65 см, в отличие от других вариантов густоты, в которых он значительно ниже. Следует отметить, что по величине радиального прироста наиболее близок данным показателям вариант с первоначальной густотой 5000 шт./га;

2-й период – продолжительность 12 лет (от 15 до до 27 лет, на графике 2007 г.). Для этого периода характерна относительная стабилизация годичного прироста по годам во всех вариантах опыта, ширина годичных колец в среднем составляет 0,1–0,3 см. Однако следует отметить, что в 2003–2007 гг. наблюдается увеличение радиального прироста в культурах с густотой посадки 15 600 шт./га.

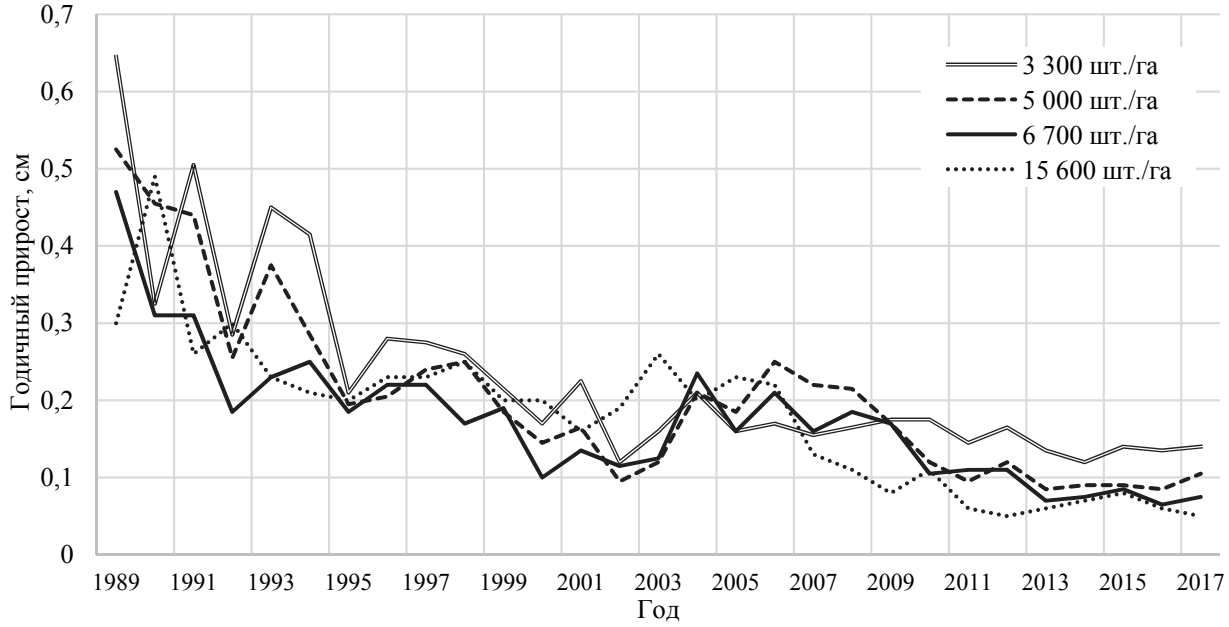


Рис. 1. Изменение радиального прироста в культурах разной густоты

Это следует объяснить тем, что весной 2002 г. на всех участках была произведена выборка сухостойных, а на секциях со схемой посадки 0,8×0,8 м были вырублены снеголомные и буреломные деревья. Следовательно, увеличение радиального прироста в очень густых культурах является реакцией древостоя на изменение светового режима в насаждении;

3-й период – 2007–2018 гг. Характеризуется относительной стабилизацией величины годичного прироста по всем вариантам густоты посадки. Отчетливо прослеживается тенденция увеличения данного показателя с уменьшением густоты посадки. В редких культурах с первоначальной густотой 3 300 шт./га ширина годичных колец в этот период составляет 0,13–0,17 см, а в очень густых культурах 0,06–0,10 см.

Таким образом, анализ динамики величины радиального прироста в насаждениях разной густоты посадки за 35 лет показывает, что наиболее успешно произрастают редкие культуры с густотой посадки саженцами 3 300 шт./га.

Также нами проведены исследования по динамике объема среднего дерева в культурах разной густоты посадки (рис. 2).

Следует отметить, что на протяжении всего периода исследований значительное преимущество по интенсивности накопления стволовой древесины имеет вариант с редкой густотой посадки (3 300 шт./га). При этой густоте объем одного ствола в 0,05 м^3 достигается в возрасте 20 лет, в то время как на секциях с густотой посадки 5 000 шт./га в 23 года, а на остальных вариантах – только в 28-летнем возрасте. Показателя объема ствола 0,15 м^3 достигли только два варианта – с густотой посадки 3 300 шт./га (в 31 год) и 5 000 шт./га (в 35 лет). В оставшихся двух вариантах опыта объем ствола среднего дерева в 35-летнем возрасте менее 0,1 м^3. Обращает на себя внимание значительное увеличение данного показателя в последние годы в редких культурах.

Для оценки интенсивности продуцирования органического вещества нами была произведена оценка запасов надземной фитомассы в культурах разной густоты посадки. Методика исследований и результаты исследований в разных возрастных периодах лесных культур нами были изложены ранее [14, 15]. Следует отметить, что в возрасте насаждений 35 лет общие запасы надземной фитомассы значительно выше в редких культурах и составляют 340,5 т/га. Этот показатель ниже на 33–38% в культурах с густотой посадки 5000 шт./га, а в густых культурах меньше в 2,3 раза. Долевое участие стволовой древесины в общих запасах надземной фитомассы самое высокое в культурах редкой и средней густоты и составляет 80–82%, в то время как в густых культурах этот показатель ниже – 78,8%. Анализируя структуру фитомассы по вариантам опыта, следует отметить более высокое долевое участие охвоенных живых ветвей в редких культурах (11,2%), в то время как в остальных вариантах опыта этот показатель ниже – 9,2–9,6% от общей массы.

В качестве результирующих показателей успешности роста лесных культур ели европейской разной густоты посадки нами были определены и проанализированы таксационные показатели древостоев в возрасте 35 лет (таблица).

Установлено, что сохранность лесных культур варьирует в широком диапазоне – от 75% в редких культурах до 20% в густых. Средний диаметр в редких культурах в 1,4 раза выше, чем в густых. В связи с большим отпадом деревьев в густых культурах более высокая полнота наблюдается в культурах средней густоты посадки. Запасы стволовой древесины в 2,1 раза выше в редких культурах по сравнению с густыми.

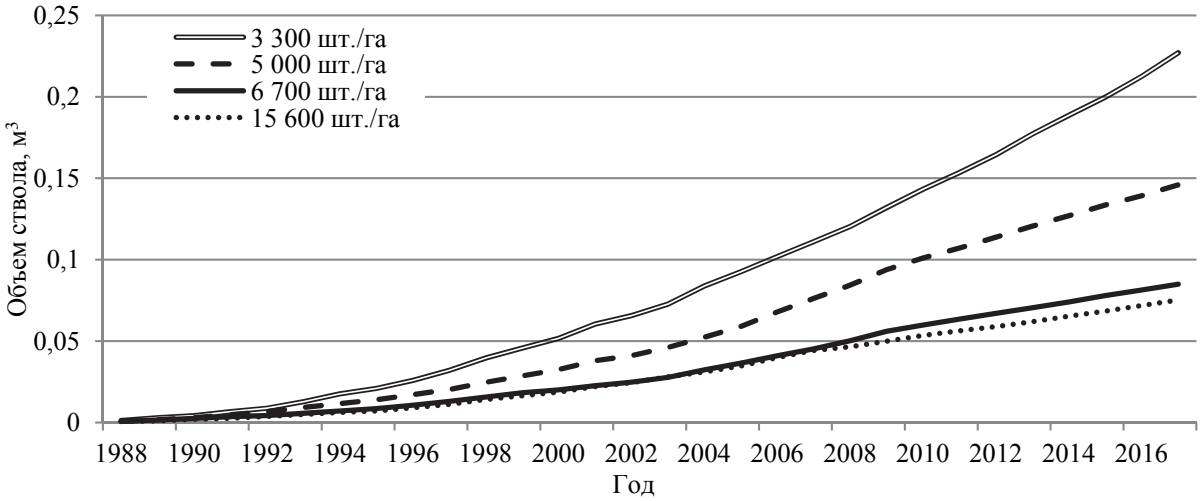


Рис. 2. Изменение объема среднего дерева в культурах разной густоты посадки

Показатели роста и продуктивности лесных культур ели европейской разной густоты посадки в 35-летнем возрасте

Вариант опыта	Сх. посадки, м / густота, шт./га	Число деревьев, шт./га	Сохранность, %	Средние		Класс бонитета	Сумма площадей поперечного сечения, $м^2$/га	Полнота	Запас стволовой древесины, $м^3$/га
				D, см	*H*, м				
1	3×1 / 3 300	2 480	75	16,5	17,1	I	53,1	1,54	462
2	2×1 / 5 000	3 280	66	14,3	15,5	I	52,7	1,61	432
3	1,5×1 / 6 700	4 130	62	12,0	13,5	I	46,7	1,60	334
4	0,8×0,8 / 15 600	3 130	20	11,4	12,8	II	31,8	1,13	221

Заключение. Результаты исследований в лесных культурах ели европейской разной густоты посадки позволяют сделать вывод о том, что радиальный прирост деревьев, запасы надземной фитомассы и таксационные показатели древостоев являются объективными критериями, отражающими успешность роста и особенности формирования насаждений. Установлено, что несмотря на общую тенденцию изменения ширины годичных колец с возрастом, на всех этапах выращивания этот показатель значительно выше в редких культурах с густотой посадки 3 300 шт./га. Величина радиального прироста между крайними вариантами опыта (первоначальная густота 3300 и 15 600 шт./га) в отдельные годы в редких культурах в 2 раза выше, чем в густых. Аналогичная зависимость проявляется в накоплении запасов надземной фитомассы древостоев. В редких культурах общие запасы наиболее высокие и составляют 340,5 т/га абсолютно сухого вещества, в то время как в густых культурах только 150,8 т/га. Такая же закономерность наблюдается в изменении таксационных показателей древостоев. Средний диаметр в 1,4 раза выше в редких культурах по сравнению с густыми. Запас стволовой древесины при густоте посадки 3 300 шт./га составляет 462 $м^3$/га, что в 2,1 раза выше, чем в густых культурах. Следовательно, на основании анализа полученных результатов исследований оптимальной густотой посадки лесных культур ели европейской 4–5-летними саженцами следует считать 3 300 шт./га со схемой посадки 3×1 м.

Список литературы

1. Об итогах воспроизводства лесов в 2020 году и задачах на 2021 год: постановление коллегии М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 29 декаб. 2020 г. Минск: Минлесхоз, 2020. 17 с.

2. Родин А. Р. Лесные культуры: учебник. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 318 с.

3. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учеб. пособие / Редько Г. И. [и др.]. СПб.: СПбЛТА, 1999. 418 с.

4. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Носников В. В. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учеб. пособие. В 2 ч. Минск: БГТУ, 2019. Ч. 2. 222 с.

5. Кайрюкштис Л. А., Юодвалькис А. И. Оптимальная густота еловых молодняков // Лесное хоз-во. 1975. № 2. С. 18–22.

6. Герасимович О. В. Лесоводственные критерии перевода лесных культур в покрытую лесом площадь: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.03.01. Минск, 1984. 18 с.

7. Бейли Н. Статистические методы в биологии. М.: Мир, 1973. 319 с.

8. Кайрюкштис Л. А., Юодвалькис А. И. Особенности сезонного роста деревьев в свете дендрохронологических и дендроклиматических исследований // Лесоведение. 1970. № 3. С. 29–34.

9. Карпавичюс Й. А. Индивидуальная и групповая изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной в подзоне смешанных лесов: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.03.03. Минск, 1984. 20 с.

10. Горячев В. М. Формирование годичного кольца деревьев разных пород на Среднем Урале // Лесоведение. 1990. № 4. С. 39–48.

11. Сарнацкий В. В. Обусловленность ширины годичного кольца деревьев в насаждениях различных типов леса в связи с динамикой атмосферных осадков и температуры воздуха // Труды БГТУ. 2012. № 1: Лесное хоз-во. С. 118–120.

12. Дегтярева Е. В., Болботунов А. А. Дендрохронологический мониторинг хвойных пород на территории санитарно-защитной зоны города Новополоцка. Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. № 1. 2020. С. 12–17.

13. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 100 с.

14. Гвоздев В. К., Волкович А. П. 30-летний опыт выращивания лесных культур ели европейской разной густоты посадки в центральной части Беларуси // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Том 1. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. С. 49–52.

15. Гвоздев В. К., Волкович А. П. Структура и запасы надземной фитомассы в еловых культурфитоценозах разной густоты. Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 1. С. 48–53.

References

1. *Ob itogakh vosproizvodstva lesov v 2020 godu i zadachakh na 2021 god* [On the results of forest reproduction in 2020 and tasks for 2021]. Minsk, Minleskhoz Publ., 2020. 17 p.

2. Rodin A.R. *Lesnyye kul'tury* [Forest cultures]. Moscow, GOU WPO MGUL Publ., 2006. 318 p.

3. Red'ko G. I., Merzlenko M. D., Babich N. A., Treshchevsky I. V. *Lesnyye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye* [Forest cultures and protective afforestation]. St. Petersburg, SPbLTA Publ., 1999. 418 p.

4. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Nosnikov V. V. *Lesnyye kul'tury i zaschitnoye lesorazvedeniye* [Forest cultures and protective afforestation]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 222 p.

5. Kayrykshtis L. A., Uodval'kis A. I. Optimal density of spruce young forests. *Lesnoye khozyaystvo* [Forest Management], 1975, no. 2, pp. 18–22 (In Russian).

6. Gerasimovich O. V. *Lesovodstvennyye kriterii perevoda lesnykh kul'tur v pokrytuyu lesom ploshchad'. Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Silvicultural criteria for the conversion of forest crops to forested area. Abstract of thesis PhD (Agriculture Science)]. Minsk, 1984. 18 p.

7. Bejli N. *Statisticheskiye metody v biologii* [Statistical Methods in Biology]. Moscow, Mir Publ., 1973. 319 p.

8. Kajryukshtis L. A., Yuodval'kis A. I. Features of seasonal tree growth in the light of dendrochronological and dendroclimatic studies. *Lesovedeniye* [Forestry], 1970, no. 3, pp. 29–34 (In Russian).

9. Karpavichyus J. A. *Individual'naya i gruppovaya izmenchivost' radial'nogo prirosta sosny obyknovennoy v podzone smeshannykh lesov. Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Individual and group variability of the radial growth of pine in the mixed forest subzone Abstract of thesis PhD (Agriculture Science)]. Minsk, 1984. 20 p.

10. Goryachev V. M. Formation of an annual ring of trees of different species in the Middle Urals. *Lesovedeniye* [Forestry], 1990, no. 4, pp. 39–48 (In Russian).

11. Sarnatskiy V. V. Dependence of the tree ring width in plantations of various types of forest in connection with the dynamics of precipitation and air temperature. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 1, Forestry, pp. 118–120 (In Russian).

12. Degtyareva E. V., Bobotunov A. A. Dendrochronological monitoring of conifers on the territory of the sanitary protection zone of the city of Novopolotsk. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 1, pp. 12–17 (In Russian).

13. Molchanov A. A., Smirnov V. V. *Metodika izucheniya prirosta drevesnykh rasteniy* [Methods of studying the growth of woody plants]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 100 p.

14. Gvozdev V. K., Volkovich A. P. 30 years of experience in growing forest cultures of European spruce of various planting densities in the central part of Belarus. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye"* [Materials of the International scientific and technical conference "Forests of Russia: politics, industry, science, education"]. St. Petersburg, 2017, pp. 49–52 (In Russian).

15. Gvozdev V. K., Volkovich A. P. Structure and reserves of above-ground phytomass in spruce culture phytocenoses of different density. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 48–53 (In Russian).

Информация об авторах

Гвоздев Валерий Кириллович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gvozdev@belstu.by

Волкович Александр Петрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: volkovich@belstu.by

Information about the authors

Gvozdev Valery Kirillovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Cultures and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gvozdev@belstu.by

Volkovich Aleksandr Petrovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Cultures and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: volkovich@belstu.by

Поступила 15.03.2021

УДК 630*443.2*414

И. А. Машкин, В. П. Шуканов, Е. В. Мельникова, Л. А. Корытько, С. Н. Полянская
Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОБИОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАЩИТНО-СТИМУЛИРУЮЩИМИ СОСТАВАМИ

В данной статье представлены результаты исследования влияния обработок посевного и посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) регуляторами роста и фунгицидами. Опыты проводили в условиях открытого грунта в 2020 г. на территории постоянного питомника ГЛХУ «Логойский лесхоз». Перед высевом часть семян, относящихся к первому классу качества, инкрустировали защитно-стимулирующим составом, включающим регулятор роста Экосил Микс и фунгицид Винцит Форте. Параллельно в нескольких вариантах на 30-е и 60-е сут посредством опрыскивания вегетирующих растений вносили растворы регуляторов роста Экосил Микс или Экосил Плюс. Сеянцы выращивали в полевых условиях на протяжении 90 дней, затем у них измеряли морфобиометрические и физиолого-биохимические параметры.

В итоге было установлено, что Винцит Форте, а также Экосил Микс и Экосил Плюс оказывают существенное влияние на параметры сеянцев сосны обыкновенной. Зависимость прослеживается как от сочетания препаратов, так и от кратности внекорневых обработок. Наибольший положительный эффект достигнут при отдельном опрыскивании вегетирующих растений Экосилами и инкрустации семян смесью Экосила Микс и Винцита Форте. Активация роста сеянцев сопровождалась нормализацией фотосинтетических и окислительных процессов на фоне повышения целостности мембран растительных клеток.

Ключевые слова: семена, сеянцы, сосна, регуляторы роста, фунгициды, пигменты фотосинтеза, перекисное окисление липидов, мембраны клеток.

Для цитирования: Машкин И. А., Шуканов В. П., Мельникова Е. В., Корытько Л. А., Полянская С. Н. Изменение морфобиометрических и физиолого-биохимических параметров сеянцев сосны (*Pinus sylvestris* L.) при обработке защитно-стимулирующими составами // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 73–80.

I. A. Mashkin, V. P. Shukanov, E. V. Mel'nikova, L. A. Koryt'ko, S. N. Polyanskaya
V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus

CHANGES OF MORPHOBIOMETRIC, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF PINE SEEDLINGS (*PINUS SYLVESTRIS* L.) WHEN APPLICATION PROTECTIVE-STIMULATING COMPOSITIONS

This article presents the results of research of the effect of treatments of seed and planting material of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with growth regulators and fungicides. The experiments were carried out in open ground in 2020 on the territory of the permanent nursery of the State Forestry Institution "Logoisk forestry". Before sowing, some of the seeds belonging to the first quality class were encrusted with a protective and stimulating composition, including the growth regulator Ecosil Mix and the fungicide Vincit Forte. In parallel, on the 30th and 60th days, solutions of Ecosil Mix or Ecosil Plus were introduced by spraying vegetative plants in several variants. Seedlings were grown in field conditions for 90 days, after were measured morphobiometric as well physiological and biochemical parameters.

As a result, it was found that treatments with the Vincit Forte, as well Ecosil Mix and Ecosil Plus, have a significant effect on parameters of Scots pine seedlings. The dependence can be traced both on the combination of drugs and on the frequency of foliar treatments. The greatest growth-stimulating effect is observed when vegetating plants are sprayed with Ecosil and seeds of Ecosil Mix and Vincita Forte. The activation of seedling growth was accompanied by a noticeable improvement in photosynthetic and oxidative processes, as well an increase in the integrity of plant cell membranes.

Key words: seeds, seedling, pine, growth regulators, fungicides, photosynthesis pigments, lipid peroxidation, cell membranes.

For citation: Mashkin I. A., Shukanov V. P., Mel'nikowa E. V., Koryt'ko L. A., Polyanskaya S. N. Changes of morphobiometric, physiological and biochemical parameters of pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.) when application protective-stimulating compositions. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 73–80 (In Russian).

Введение. Регулирование роста, а также уменьшение влияния негативных факторов окружающей среды являются важными звеньями в онтогенезе растений, определяющими их продуктивность. Общепризнано, что биотический и абиотический стресс не позволяет растениям достичь всего потенциала, однако, к сожалению, текущее понимание задействованных механизмов и стратегий смягчения этих эффектов весьма ограничено. Стресс можно частично предотвратить путем оптимизации технологий выращивания растений, обеспечивая их водой и питательными веществами. Дополнительно к этим традиционным подходам все чаще в производственные системы с целью изменения физиолого-биохимических процессов растений и повышения продуктивности интегрируются биостимуляторы [1–3].

На данный момент в той или иной степени изучено около 5000 соединений синтетического или природного происхождения, обладающих росторегулирующим действием [4, 5]. Следует помнить, что использование химических веществ при выращивании растений должно ориентироваться на принципы экологической безопасности, поэтому регуляторы роста на основе природного сырья привлекают большое внимание как научного сообщества, так и коммерческих предприятий, особенно в последние десятилетия [1]. Одними из наиболее перспективных являются препараты, действующим веществом которых выступает комплекс тритерпеновых кислот. К ним, например, относятся отечественные регуляторы роста, выпускаемые УП «Белуниверсалпродукт» под маркой Экосил. Сырьем для их производства служит хвоя пихты сибирской (*Abies sibirica*), что позволило присвоить Экосилам 4-й класс опасности [4, 5].

Препараты, содержащие тритерпеновые кислоты пихты, наряду с росторегулирующим должны обеспечивать также иммунопротекторное действие [5, 6]. Тем не менее без целенаправленного ингибирования патогенов, в особенности грибов, растения теряют часть своей продуктивности, даже с учетом возросшей благодаря росторегуляторам устойчивости. Поэтому логично возникает вопрос о необходимости применения фунгицидов для обработки растений прежде всего перед высевом семян, так как широкий сектор фитопатогенов может не только снизить качество посевного материала, но и способствовать развитию болезней сеянцев [2, 7, 8]. Вместе с тем довольно часто в научной литературе сообщается о негативном влиянии пестицидов на первичный метаболизм растений. Так, изменения фотосинтетического аппарата могут приводить к сокращению производства фотоассимилятов и, как следствие, падает интенсивность ростовых процессов. Однако, к сожалению, на данный момент большинство исследований влияния регуляторов роста и фунгицидов опираются прежде всего на морфобиометрические показатели, в то время как наиболее точно охарактеризовать действие защитно-стимулирующих веществ можно на физиолого-биохимическом уровне [2, 3].

Основная часть. Объектами исследования являлись сенцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с открытой корневой системой, выращенные на территории постоянного питомника ГЛХУ «Логойский лесхоз». Семена, относящиеся к первому классу, высеяны в мае 2020 г. безгрядковым ленточным посевом по пятистрочной схеме, с расстоянием 25 см и шириной строки, равной 5 см. В пределах опытного участка общей площадью 0,3 га случайным образом были разбиты метровые делянки (по 4 на один вариант). Продолжительность эксперимента составила 90 дней.

Перед посевом часть семян инкрустировали защитно-стимулирующими составами, включающими фунгицид Винцит Форте и регулятор роста Экосил Микс. В июне – начале августа произвели внекорневую обработку сеянцев путем опрыскивания вегетирующей массы растений рабочими растворами препаратов Экосил Микс и Экосил Плюс одно- двукратно с интервалом в 20–30 дней согласно составленной схеме опытов (табл. 1).

Винцит Форте, КС (флутриафол 37,5 г/л + + тиабендазол 25 г/л + имазалил 15 г/л) – системный фунгицид для защиты растений от комплекса заболеваний, передающихся с семенами через почву и аэрогенным путем. Протравитель проявляет фунгицидный эффект в течение нескольких часов после высева протравленных семян. Обладают профилактическим и лечащим действием [9].

Экосил Микс, ВЭ (5 г/л тритерпеновых кислот) – природный полифункциональный препарат, регулятор роста и индуктор иммунитета растений. Обогащен комплексом макро- и микроэлементов и широким спектром биологически активных соединений: модифицированных гуминовых кислот, фульвокислот, аминокислот и биогенных аминов (тирамин и др.), низкомолекулярных органических кислот (янтарная, малоновая, яблочная, щавелевая, и др.), фенолкарбоновых кислот [10].

Экосил Плюс, ВЭ (2,5 г/л тритерпеновых кислот) – регулятор роста, в состав которого, помимо тритерпеновых кислот, входит биологически активная сумма нейтральных изопреноидов, обогащенная композицией из более чем 30 легколетучих малополярных, моно- и группа сесквитерпеновых соединений [11].

Таблица 1

Схема проведения опыта по обработке семян и сеянцев сосны

Вариант	Способ обработки	Расход рабочего раствора
Контроль (сухие семена)	–	–
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	Внекорневая	30 мл/м^2
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	Внекорневая	30 мл/м^2
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	Внекорневая	30 мл/м^2
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	Внекорневая	30 мл/м^2
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	Предпосевная (инкрустация)	10 мл/кг
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	10 мл/кг 30 мл/м^2
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	10 мл/кг 30 мл/м^2
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	10 мл/кг 30 мл/м^2
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	10 мл/кг 30 мл/м^2

На 90-е сут выращивания у сенцев были измерены морфобиометрические (длина надземной и подземной части, толщина корневой шейки) и физиолого-биохимические параметры (содержание пигментов фотосинтеза и продуктов перекисного окисления липидов в хвое, проницаемость мембран клеток).

Обмер случайно отобранного посадочного материала (10 сеянцев с делянки) производили измерительными инструментами: длину надземной и подземной части – с помощью линейки с миллиметровыми делениями, диаметр корневой шейки – штангенциркулем. Длину надземной части измеряли по оси стволика от корневой шейки до основания верхушечной почки, а подземной части – от корневой шейки до окончания корня.

Физиолого-биохимические параметры оценивали с помощью спектрофотометрических и кондуктометрических методов. Для определения содержания пигментов фотосинтеза образцы хвои с постоянной навеской 0,2 г отбирали в трехкратной повторности. Далее в лабораторных условиях получали вытяжку пигментов в ацетоне. Экстракты пигментов фильтровались вакуумным способом, а после определяли оптическую плотность вытяжек на спектрофотометре Proscan MC 122. Количество отдельных пигментов устанавливали с помощью трехволнового метода, измеряя оптическую плотность (D) вытяжки при длине волн 662, 644 и 440 нм (максимумы поглощения соответственно хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в ацетоне). Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* и их сумму рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс для ацетона, а концентрацию каротиноидов в суммарной вытяжке пигментов вычисляли по уравнению Веттштейна [12–15].

Интенсивность перекисного окисления липидов определяли, основываясь на способности 2-тиобарбитуровой кислоты (ТБК) связываться с липидными перекисями (малоновый диальдегид). Образующиеся окрашенные ТБК-продукты являлись тестом активности протекания данного процесса. Пробу свежей массы, отобранную в трехкратной повторности, растирали до гомогената в 0,25% ТБК и 10% трихлоруксусной кислоты (ТХУ). Затем пробы нагревали 30 мин при 95°С, после чего охлаждали в проточной воде и доводили до метки дистиллированной водой, а затем центрифугировали на протяжении 15 мин при 8000 g. Получившийся супернатант спектрофотометрировали при длине волн, равной 532 нм. Количество ТБК-продуктов (мкМ/г свежей массы) рассчитывали, используя молярный коэффициент экстинкции – $1{,}55 \cdot 10^5$ М–1 см–1 [12–14, 16, 17].

Проницаемость мембран растительных клеток фиксировали по выходу водорастворимых веществ из свежей хвои. Для этого контрольные и опытные образцы помещали в дистиллированную воду (соотношение воды и навески составляло 50 : 1) и инкубировали в ней 3 ч. После чего хвою удаляли и проводили измерения кондуктометром HI-8734 (в мг/л), при этом учитывали показания, полученные для дистиллированной воды [2, 3, 12–14].

Для статистического анализа полученных в ходе экспериментов результатов были рассчитаны ошибка среднего (уровень надежности 95%), парный двухвыборочный *t*-критерий Стьюдента средних значений (уровень значимости 0,05) и корреляционная матрица (интерпретация согласно шкале Чеддока) на базе программного обеспечения пакета анализа Microsoft Excel 2013 [3, 18].

Таблица 2

Влияние обработок на морфобиометрические параметры сеянцев сосны (3 мес.)

Варианты опыта	Длина надземной части		Длина корня		Толщина корневой шейки	
	мм ($M \pm m$)	% к конт.	мм ($M \pm m$)	% к конт.	мм ($M \pm m$)	% к конт.
Контроль (сухие семена)	68,83 ± 1,15	100	54,70 ± 2,82	100	0,80 ± 0,01	100
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	72,90 ± 1,28*	106	66,83 ± 2,44*	122	0,91 ± 0,01*	114
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	68,83 ± 0,98	100	71,03 ± 2,09*	130	0,83 ± 0,01	105
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	66,45 ± 0,79	97	79,78 ± 1,36*	146	0,86 ± 0,02*	108
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	72,43 ± 1,20*	105	78,45 ± 2,11*	143	0,93 ± 0,01*	117
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	75,38 ± 1,09*	110	77,28 ± 1,50*	141	0,93 ± 0,01*	117
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	68,15 ± 1,03	99	53,45 ± 1,26	98	0,80 ± 0,01	100
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	58,73 ± 0,75*	85	40,85 ± 1,46*	75	0,78 ± 0,01	98
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	70,88 ± 0,96	103	51,35 ± 2,60	94	0,88 ± 0,01*	111
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	59,83 ± 1,09*	87	42,23 ± 1,72*	77	0,76 ± 0,01	96

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

В возрасте 3 мес. у сеянцев сосны обыкновенной с открытой корневой системой под действием защитно-стимулирующих препаратов отмечена существенная интенсификация ростовых процессов как в вариантах с одной только предпосевной или внекорневой обработкой, так и при однократном параллельном внесении Экосила Плюс во время вегетации (табл. 2). При этом длина надземной части наиболее заметно увеличилась в сравнении с контролем при отдельном инкрустировании посевного материала смесью Экосила Микс и Винцита Форте (до 10%), а длина корня оказалась максимальной после однократной внекорневой обработки регулятором роста Экосил Плюс. В свою очередь самое ощутимое утолщение корневой шейки сеянцев зафиксировано как при отдельной двукратной экзогенной обработке растений Экосилом Плюс, так и после инкрустирования семян, но без последующего опрыскивания растений растворами регуляторов роста. Однако следует отметить, что параллельные предпосевные и двукратные внекорневые обработки вызвали некоторое ингибирование ростовых процессов сосны обыкновенной, а в вариантах с однократным внесением регуляторов роста получены показатели, близкие к контрольным значениям. Исключением стал лишь вариант Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка), в котором наблюдается статистически значимое по отношению к контрольным показателям увеличение толщины корневой шейки сеянцев сосны обыкновенной (до 11%).

На физиолого-биохимическом уровне влияние обработок заметно прежде всего по изменению содержания пигментов фотосинтеза в хвое сеянцев (табл. 3), которое указывает на смещение первичных метаболических путей растений при внесении испытываемых препаратов. Статистически достоверное колебание количества фотосинтетических пигментов относительно контроля как в большую, так и в меньшую сторону, зафиксировано в большинстве опытных вариантов. Следует отметить, что в случае отдельного внесения Экосилов во время вегетации прослеживается зависимость от кратности обработок, а при сочетании экзогенных обработок с инкрустированием уже от используемого для опрыскивания регулятора роста. Так, однократные внекорневые обработки биостимуляторами вызвали падение уровня содержания пигментов фотосинтеза, а двукратные, напротив, привели к существенному повышению концентрации хлорофиллов. При этом опрыскивание Экосилом Микс в сочетании с предпосевной обработкой обусловило сокращение содержания фотосинтетических пигментов относительно контроля, а параллельное внесение Экосила Плюс – повышение.

Таблица 3

Влияние обработок на содержание пигментов фотосинтеза в хвое сеянцев сосны (3 мес.)

Варианты опыта	Хлорофилл *a*		Хлорофилл *b*		Каротиноиды	
	мг/г ($M \pm m$)	% к конт.	мг/г ($M \pm m$)	% к конт.	мг/г ($M \pm m$)	% к конт.
Контроль (сухие семена)	0,50 ± 0,01	100	0,15 ± 0,01	100	0,40 ± 0,01	100
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	0,40 ± 0,01*	79	0,12 ± 0,01*	84	0,32 ± 0,01*	80
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	0,52 ± 0,01	103	0,16 ± 0,01*	109	0,41 ± 0,01	102
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	0,43 ± 0,01*	85	0,13 ± 0,01*	92	0,36 ± 0,01*	89
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	0,53 ± 0,01*	105	0,16 ± 0,01*	113	0,42 ± 0,01	104
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	0,55 ± 0,01*	109	0,16 ± 0,01*	112	0,40 ± 0,01	101
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	0,47 ± 0,01*	93	0,15 ± 0,01	102	0,38 ± 0,01*	94
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	0,41 ± 0,01*	82	0,12 ± 0,01*	81	0,32 ± 0,01*	81
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	0,55 ± 0,01*	110	0,19 ± 0,01*	131	0,43 ± 0,01*	107
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	0,57 ± 0,01*	114	0,19 ± 0,01*	133	0,43 ± 0,01*	108

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Отдельное инкрустирование семян смесью регулятора роста Экосил Микс и фунгицида Винцит Форте повлияло только на содержание хлорофиллов, увеличив их количество в хвое сеянцев. Вопрос изменения содержания пигментов фотосинтеза при внесении защитно-стимулирующих веществ и действии стресса остается не до конца раскрытым, поэтому нельзя однозначно интерпретировать полученные результаты. Можно лишь предположить, что в данном случае ведущим фактором к раскрытию потенциала растений является прежде всего количество хлорофиллов, ведь именно их сокращение, в особенности по отношению к каротиноидам, способно привести к разобщению фотосистем и нарушить процессы преобразования энергии. В свою очередь негативно отразиться на растении может и резкое колебание каротиноидов, так как они являются обязательными спутниками хлорофиллов и обеспечивают защиту [2, 3, 15].

Почти во всех опытных вариантах произведенные обработки посевного и посадочного материала сосны обыкновенной способствовали уменьшению окислительного стресса и увеличению целостности мембран клеток сеянцев с открытой корневой системой в возрасте 3 мес. (табл. 4).

Таблица 4

Влияние обработок на окислительные процессы и мембраны клеток сеянцев сосны (3 мес.)

Варианты опыта	Содержание ТБК-продуктов		Выход водорастворимых в-в	
	мкМ/г ($M \pm m$)	% к конт.	мг/л/г ($M \pm m$)	% к конт.
Контроль (сухие семена)	33,32 ± 0,30	100	5,8 ± 0,1	100
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	31,44 ± 0,58*	94	6,0 ± 0,1	103
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	30,25 ± 0,42*	91	4,8 ± 0,1*	82
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	31,96 ± 0,35	96	5,6 ± 0,1	96
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	32,16 ± 0,36	96	5,4 ± 0,1*	93
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	30,12 ± 0,32*	90	5,2 ± 0,1*	90
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	30,39 ± 0,24*	91	5,9 ± 0,1	101
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	33,45 ± 0,36	100	6,3 ± 0,1	107
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	39,54 ± 0,47*	119	6,4 ± 0,1*	109
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	49,59 ± 0,59*	149	6,6 ± 0,2*	113

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Таблица 5

Корреляционная матрица измеренных параметров сеянцев сосны (3 мес.)

Показатели	Длина надземной части	Длина корня	Толщина корневой шейки	Содержание ТБК-продуктов	Выход водорастворимых веществ	Содержание пигментов фотосинтеза
Длина надземной части	1,0	–	–	–	–	–
Длина корня	0,7	1,0	–	–	–	–
Толщина корневой шейки	0,8	0,8	1,0	–	–	–
Содержание ТБК-продуктов	–0,5	–0,6	–0,4	1,0	–	–
Выход водоратвор. веществ	–0,5	–0,8	–0,4	0,7	1,0	–
Содержание пигментов фотосинтеза	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0

Лишь при сочетании инкрустации семян смесью препаратов Экосил Микс и Винцит Форте и внекорневой обработки посадочного материала растворами Экосила Плюс отмечены существенное повышение содержания в тканях растений продуктов перекисного окисления липидов и более активный выход водорастворимых веществ из хвои сосны в сравнение с контрольными образцами. Видно, что эти два показателя изменяются, как правило, синхронно, причем в сторону увеличения, а вот снижение интенсивности окисления липидов не всегда приводит к явному повышению целостности клеточных мембран. Подобное, например, зафиксировано в случае однократной экзогенной обработки сеянцев росторегулятором Экосил Микс как на фоне инкрустации семян, так и в варианте с отдельным опрыскиванием растений. В целом же наиболее четкое антиоксидантное и мембранотропное действие препаратов заметно при отдельном двукратном внесении Экосила Микс во время вегетации и после комплексной предпосевной обработки семян Экосилом Микс и Винцитом Форте.

Проведенный корреляционный анализ позволил выявить тесноту и направление взаимосвязи между измеренными показателями роста и болезнеустойчивости растений (табл. 5). Так, высокая положительная зависимость установлена между толщиной корневой шейки, длиной надземной и подземной частей сеянцев. Заметно отрицательно соотносятся с величинами морфобиометрических параметров уровень содержания ТБК-продуктов и интенсивность выхода из тканей сеянцев водорастворимых веществ. Также заметно, но уже в положительном направлении, количество ТБК-продуктов коррелирует с остальными физиолого-биохимическими показателями. Данная закономерность вполне ожидаема, так как перекисное окисление липидов приводит к нарушению целостности мембран клеток, что, как правило, является следствием наличия стресса, к которому растительный организм пытается приспособиться, активируя первичный метаболизм, в частности, фотосинтетические процессы [2, 3].

Заключение. Обработки фунгицидом Винцит Форте, а также регуляторами роста Экосил Микс и Экосил Плюс оказывают существенное влияние на морфобиометрические и физиолого-биохимические параметры сеянцев сосны обыкновенной с открытой корневой системой на начальных этапах роста. Наибольший положительный эффект достигнут при отдельном опрыскивании вегетирующих растений Экосилами и инкрустации семян защитно-стимулирующим составом, включающим Экосила Микс и Винцита Форте. Активация роста сеянцев, как правило, сопровождалась заметной нормализацией фотосинтетических и окислительных процессов на фоне повышения целостности мембран растительных клеток. Таким образом, испытанные препараты обладают антиоксидантным, мембранотропным, росто- и иммуностимулирующим действием, а их использование является целесообразным агротехническим приемом, который должен способствовать повышению качества посевного и посадочного материала хвойных пород растений при полной экологической безопасности.

Список литературы

1. Yakhin Oleg I., Lubyanov Aleksandr A., Yakhin Ildus A., Brown Patrick H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 7. P. 1–32.

2. Волынец А. П., Шуканов В. П. Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений. Минск: Беларуская навука, 2016. 252 с.

3. Эндогенные фиторегуляторы роста: свойства, физиологическое действие и практическое использование / А. П. Волынец [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2019. 233 с.

4. Дударевич В. И., Позняк С. С., Романовский Ч. А. Влияние регулятора роста Экосил на формирование фотосинтетического аппарата и продуктивность среднеспелых сортов картофеля // Вестник АПК Верхневолжья. 2008. № 1. С. 19–24.

5. Чукичева И. Ю., Хуршкайнен Т. В., Кучин А. В. Природные регуляторы роста растений из хвойного сырья // Инноватика и экспертиза. 2018. № 3 (24). С. 93–99.

6. Ралдугин В. А. Тритерпеноиды пихты и высокоэффективный регулятор роста растений на их основе // Российский химический журнал. 2004. № 3. С. 84–88.

7. Ламан Н. А., Алексейчук Г. Н., Калацкая Ж. Н. Современная технология предпосевной обработки семян // Наука и инновации. 2006. № 9 (43). С. 37–41.

8. Биологическая эффективность новых препаратов для предпосевной обработки семян в защите сеянцев от инфекционного полегания / В. А. Ярмолович [и др.] // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 262–265.

9. Винцит Форте [Электронный ресурс] // FMC. URL: http://www.fmcrussia.com/Средства-защиты-растений/Препараты/Обработка-семян/Винцит-Форте (дата обращения: 15.11.2019).

10. Экосил Микс [Электронный ресурс] // АгроБелорус. URL: https://agrobelarus.by/market/polifunktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-miks-ve-5g-l-triterpenovykh-kislot (дата обращения: 18.11.2019).

11. Экосил Плюс [Электронный ресурс] // АгроБелорус. URL: https://agrobelarus.by/market/polifunktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-plyus-ve-2-5g-l (дата обращения: 18.11.2019).

12. Иванов В. Б. Практикум по физиологии растений. М.: Академия, 2001. 136 с.

13. Храмченкова О. М. Практикум по физиологии растений: практическое руководство. В 2 ч. Гомель: ГГУ, 2017. Ч. 1. 44 с.

14. Коробко В. В., Касаткин М. Ю. Большой практикум по физиологии растений. Саратов: СГУ, 2017. 103 с.

15. Титова М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* // Вестник ОГУ. 2010. № 12. С. 9–12.

16. Колупаев Ю. Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология. 2007. № 3 (12). С. 6–26.

17. Гарифзянов А. Р., Жуков Н. Н., Иванищев В. В. Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 2. С. 100–120.

18. Сиделев С. И. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию: учеб. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2012. 140 с.

References

1. Yakhin Oleg I., Lubyanov Aleksandr A., Yakhin Ildus A., Brown Patrick H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*. 2017, vol. 7, pp. 1–32 (In English).

2. Volynets A. P., Shukanov V. P. *Fiziologiya patogeneza i bolezneustoychivosti rasteniy* [Pathogenesis physiology and disease resistance of plants]. Minsk, Bielaruskaya navuka Publ., 2016. 252 p.

3. Volynets A. P., Shukanov V. P., Polyanskaya S. N., Manzhelesova N. E., Korytsko L. A., Litvinovskaya R. P., Safonov D. P., Mashchenko N. E., Mel'nikova E. V., Lakhvich F. A., Goncharuk V. M., Golub I. A., Shanbanovich G. N., Savel'yev N. S. *Endogennyye fitoregulyatory rosta: svoystva, fiziologicheskoye deystviye i prakticheskoye ispol'zovaniye* [Endogenous phytoregulators of growth: properties, physiological action and practical use]. Minsk, Bielaruskaya navuka Publ., 2019. 233 p.

4. Dudarevich V. I., Poznyak S. S., Romanovsky Ch. A. Influence of growth regulator in emerging ECOS, availability of the photosynthetic apparatus and the productivity of mid-potato varieties. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* [APK Upper Herald], 2008, no. 1, pp. 19–24 (In Russian).

5. Chukicheva I. Yu., Khurshkainen T. V., Kuchin A. V. Natural regulators of plant growth from coniferous raw materials. *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and expertise], 2018, no. 3 (24), pp. 93–99 (In Russian).

6. Raldugin V. A. Triterpenoids of fir and a highly efficient plant growth regulator based on them. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian Chemical Journal], 2004, no. 3, pp. 84–88 (In Russian).

7. Laman N. A., Alekseychuk G. N., Kalatskaya J. N. Modern technology for pre-sowing seed treatment. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2006, no. 9 (43), pp. 37–41 (In Russian).

8. Yarmolovich V. A., Dishuk N. G., Asmolovsky M. K., Semenova V. Yu. Biological effectiveness of new drugs for pre-sowing seed treatment in protecting seedlings from infectious lodging. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 262–265 (In Russian).

9. FMC. Vincit Forte. Available at: http://www.fmcrussia.com/Средства-защиты-растений/Препараты/Обработка-семян/Винцит-Форте (accessed 15.11.2019).

10. AgroBelorus. Ecosil Mix. Available at: https://agrobelarus.by/market/polifunktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-miks-ve-5g-l-triterpenovykh-kislot (accessed 18.11.2019).

11. AgroBelorus. Ecosil Plus. Available at: https://agrobelarus.by/market/polifunktsionalnye-prirodnye-preparaty/regulyator-rosta-rasteniy-ekosil-plyus-ve-2-5g-l (accessed 18.11.2019).

12. Ivanov V. B. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Workshop on plant physiology]. Moscow, Akademiya Publ., 2001. 136 p.

13. Khramchenkova O. M. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Workshop on plant physiology]. Gomel', GGU Publ., 2017. 44 p.

14. Korobko V. V., Kasatkin M. Yu. *Bol'shoy praktikum po fiziologii rasteniy* [Large workshop on plant physiology]. Saratov, SGU Publ., 2017. 103 p.

15. Titova M. S. Content of photosynthetic pigments in the needles of *Picea abies* and *Picea koraiensis*. *Vestnik OGU* [Bulletin of OSU], 2010, no. 12, pp. 9–12 (In Russian).

16. Kolupaev Yu. E. Active forms of oxygen in plants under the action of stressors: formation and possible functions. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Agrarian University], 2007, no. 3 (12), Biology, pp. 6–26 (In Russian).

17. Garifzyanov A. R., Zhukov N. N., Ivanishchev V. V. Formation and physiological reactions of reactive oxygen species in plant cells. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2011, no. 2, pp. 100–120 (In Russian).

18. Sidelev S. I. *Matematicheskiye metody v biologii i ekologii: vvedeniye v elementarnuyu biometriyu* [Mathematical methods in biology and ecology: an introduction to elementary biometrics]. Yaroslavl', YarGU Publ., 2012. 140 p.

Информация об авторах

Машкин Иван Анатольевич – младший научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: ivan.mashkin.1993@gmail.com

Шуканов Владимир Петрович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Мельникова Елена Владимировна – научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Корытько Лариса Александровна – научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Полянская Светлана Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Information about the authors

Mashkin Ivan Anatol'yevich – Junior Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ivan.mashkin.1993@gmail.com

Shukanov Vladimir Petrovich – PhD (Biology), Head of the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Mel'nikova Yelena Vladimirovna – Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Koryt'ko Larisa Aleksandrovna – Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Polyanskaya Svetlana Nikolayevna – PhD (Biology), Senior Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Поступила 15.02.2021

УДК 630*232.329.9

В. В. Носников, О. А. Селищева
Белорусский государственный технологический университет

КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ХВОЙНЫХ ПОРОД С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Операция полива занимает важное место в технологическом процессе выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. Наряду с количеством воды важную роль играют и такие ее качественные характеристики, как кислотность и электрическая проводимость или кондуктивность (EC). Анализ кислотности воды, применяемой в ряде лесохозяйственных учреждений Беларуси, показал, что она колеблется в пределах от 6,73 до 8,15. Значение EC колеблется от 194,5 до 1152,0 μS/см, причем минимальное значение характерно для открытого водоема. Для обеспечения оптимальных условий роста вода для полива должна иметь значение кислотности, близкое к оптимальной кислотности субстрата, используемого для выращивания определенной породы. При более высоком значении pH происходит раскисление субстрата, что может вызвать снижение ростовых процессов посадочного материала.

Одним из способов регулирования кислотности воды является добавление в нее при поливе кислоты. Поставленные эксперименты показали, что как азотная, так и серная кислота эффективно снижают pH воды, однако одновременно обеспечивают значительное повышение электропроводности, что может вызвать засоление субстрата. Кроме того, для нормализации кислотности воды применение кислоты должно быть постоянным, поскольку единовременное внесение имеет кратковременный эффект.

Наиболее оптимальным с точки зрения соотношения экономических затрат и достигнутого результата методом снижения негативного воздействия поливной воды, обладающей высокими значениями pH, может являться увеличение исходной кислотности субстрата за счет снижения количества вносимого нейтрализующего материала.

Ключевые слова: полив, вода, кислотность, электропроводность, сосна обыкновенная, ель европейская.

Для цитирования: Носников В. В., Селищева О. А. Качественные характеристики поливной воды и их влияние на технологические аспекты выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (240). С. 81–87.

V. V. Nosnikov, O. A. Selishcheva
Belarusian State Technological University

QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF IRRIGATION WATER AND THEIR INFLUENCE ON TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CULTIVATION OF CONTAINER PLANTING MATERIAL OF CONIFEROUS SPECIES

The irrigation operation takes an important place in the technological process of growing container seedlings. Along with the amount of water, such quality characteristics as acidity and electrical conductivity (EC) also play an important role. Analysis of the acidity of water used in a number of forestry institutions in Belarus showed that it ranges from 6.73 to 8.15. The EC value ranges from 194.5 to 1152.0 μS/cm, with the minimum value typical for an open water reservoir. To ensure optimal growth conditions, the water for irrigation should have an acidity value close to the optimum acidity of the substrate used to grow a particular species. At a higher pH value, the substrate deacidifies, which can cause a decrease in the growth processes of the planting material.

One way to regulate the acidity of the water is to add acid to it during watering. The experiments showed that both nitric and sulfuric acids effectively reduce the pH of water, but at the same time provide a significant increase in electrical conductivity, which can cause salinization of the substrate. In addition, to normalize the acidity of water, the use of acid must be constant, since a single application has a short-term effect.

From the point of view of the ratio of economic costs and the achieved result, the most optimal method for reducing the negative impact of irrigation water with high pH values may be an increase in the initial acidity of the substrate due to a decrease in the amount of introduced neutralizing material.

Key words: watering, water, acidity, electrical conductivity, Scots pine, European spruce.

For citation: Nosnikau V. V., Selishcheva O. A. Qualitative characteristics of irrigation water and their influence on technological aspects of cultivation of container planting material of coniferous species. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (240), pp. 81–87 (In Russian).

Введение. Использование посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) находит все большее применение в лесохозяйственной практике воспроизводства лесов и лесоразведении, в том числе в Беларуси [1, 2, 3]. Для достижения высоких качественных показателей сеянцев с ЗКС необходимо поддержание на оптимальном уровне всех влияющих факторов, прежде всего таких, как свет, тепло, минеральное питание и вода [4, 5, 6]. Последней отводится одно из наиболее важных мест в технологии получения данного посадочного материала [7].

Одним из ключевых показателей правильного водного режима растений является соблюдение поливной нормы [8, 9]. Недостаток воды приводит к увяданию растений, в то время как переизбыток ее ухудшает режим аэрации корневых систем в субстрате в пределах ячейки, что может быть одним из факторов значительной дифференциации сеянцев по высоте [10, 11].

Серьезные вопросы в Беларуси возникают с качественными параметрами воды, которая применяется для полива [12, 13]. Основными параметрами качества воды для полива посадочного материала с ЗКС считаются ее кислотность и электрическая проводимость. Согласно данным Государственного водного кадастра за 2018 г. [14], кислотность грунтовых вод на гидрологических постах находилась в пределах 5,70–9,15 pH (среднее 7,03 pH), артезианских – 4,70–9,20 pH (среднее 7,32 pH). Использование при выращивании сеянцев с ЗКС хвойных пород воды с нейтральной кислотностью или близкой к ней приводит к постепенному раскислению субстрата. Высокая степень минерализации, которой соответствует высокое значение электрической проводимости, не только увеличивает засоление субстрата, но и приводит за счет солевых отложений к изменению геометрии распыла и количества расхода воды в форсунках. В идеальном случае вода должна примерно соответствовать оптимальной кислотности субстрата для определенной породы и отличаться невысокой минерализацией. По данным польских ученых, показатели кислотности воды должны находиться в пределах 5,5–6,5 pH, а электрическая проводимость не должна превышать 500 μS/см [15].

Основная часть. Обеспечение лесных питомников Беларуси водой для полива производится преимущественно за счет использования подземных вод. Для этой цели оборудуют скважины, которые по причине высокого расхода воды при поливах достигают напорных водоносных горизонтов. В ряде случаев могут использоваться промежуточные водоемы, которые наполняются как за счет грунтовых вод и атмосферных осадков, так и за счет сброса в них воды из скважины, как, например, в Сморгонском опытном лесхозе. Такая схема позволяет экономить воду и электроэнергию за счет естественных источников, в то же время позволяет пополнять необходимый запас влаги в засушливые периоды.

Одним из существенных недостатков использования для полива подземных вод является их нейтральная реакция и относительно высокая степень минерализации.

Анализ кислотности и электрической проводимости воды, выполненный нами на основании обследования источников водоснабжения ряда питомников в 2018–2020 гг., показал, что эти данные соответствуют общим тенденциям, характерным для подземных вод Беларуси. Результаты замеров кислотности и электрической проводимости приведены в табл. 1.

Наилучшими качественными показателями воды отличается скважина Ивацевичского лесхоза, на которой не только минимальное из исследуемых лесхозов значение pH, но и незначительное количество растворенных солей. Хорошими показателями по наличию растворенных солей отличается также вода в Смолевичском и Бегомльском лесхозах. Наихудшие показатели по количеству растворенных солей имеет вода Логойского лесхоза. Однако во всех лесхозах у воды нейтральная или близкая к ней кислотность, что и обусловливает в целом проблемы с кислотностью субстрата в последующем при интенсивных поливах.

Выращивание посадочного материала с ЗКС в настоящее время сосредоточено в специализированных центрах, которые располагаются на базе Республиканского лесного селекционно-семеноводческого центра (РЛССЦ), Ивацевичского и Могилевского лесхоза, Глубокского опытного лесхоза. Они обеспечивают 80–90% от общего количества посадочного материала с ЗКС.

Однако теплицы, оснащенные современным оборудованием для полива и предназначенные для выращивания посадочного материала с ЗКС, есть и в других лесохозяйственных учреждениях, например в Копыльском, Гомельском опытных лесхозах, Логойском, Любаньском лесхозах и т. д. Соответственно, проблема качества воды имеет наиболее важное значение именно для этих учреждений, поскольку напрямую связана с качеством посадочного материала.

Таблица 1

Кислотность и EC образцов воды питомников ряда учреждений

Учреждение (год отбора)	pH	EC, μS/см
Ивацевичский лесхоз (2018)	6,84	218,7
Ивацевичский лесхоз (2019)	6,73	303,2
Поставский лесхоз (2019)	7,08	562,5
Россонский лесхоз (2018)	7,06	432,6
Бегомльский лесхоз (2018)	6,81	280,8
Лепельский лесхоз (2019)	6,8	402,7
Гомельский опытный лесхоз (2018)	7,2	–
Городокский лесхоз (2019)	8,1	194,5
Глубокский опытный лесхоз (2018)	8,15	574,0
Глубокский опытный лесхоз (2019)	7,34	705,0
Логойский лесхоз (2019)	7,52	1152,0
Воложинский опытный лесхоз (2019)	7,95	373,2
Смолевичский лесхоз (2019)	6,77	195,9
Ивьевский лесхоз (2019)	7,07	356,0
Островецкий лесхоз (2019)	7,06	438,0
Копыльский опытный лесхоз (2020)	7,26	564,0
Национальный парк «Браславские озера» (2020)	6,95	650,0

На базе РЛССЦ совместно с сотрудниками центра была изучена динамика кислотности воды с июня по август 2019 г., в период наиболее интенсивного полива. Отбор образцов проходил со скважины № 1, расположенной на территории РУП «Белтаможсервис» и обеспечивающей водой старую часть комплекса, и со скважины № 2, расположенной в новой части, введенной в действие в 2019 г. Результаты замеров представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, вода в обеих скважинах имеет реакцию от нейтральной до щелочной. В целом наблюдается незначительное падение показателя pH к концу лета, но все равно остается на запредельно высоком уровне по сравнению с оптимальной кислотностью субстрата, которая для сосны обыкновенной и ели европейской составляет 5,0–5,5 pH. В результате при использовании на РЛССЦ субстрата с показателем pH, равным 4,5–5,0, происходит постепенное увеличение его кислотности. К середине июля она уже достигла 6,4 pH, а к началу августа – 6,8 pH. При такой кислотности субстрата у сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской происходит угнетение ростовых процессов и наблюдается ярко выраженный хлороз.

Таблица 2

Кислотность воды в РЛССЦ

День измерения	Скважина 1	Скважина 2
03.06.2019	8,72	8,64
18.06.2019	8,66	8,44
12.07.2019	8,70	8,77
25.07.2019	7,60	8,00
31.07.2019	8,15	8,40
09.08.2019	7,54	6,97
20.08.2019	8,00	8,15

В результате страдают все качественные показатели выращиваемых растений: высота надземной части, диаметр стволика у корневой шейки, развитие корневой системы.

Помимо показателей кислотности и общего содержания солей, которое определяется электрической проводимостью, важное место имеет также содержание отдельных элементов, растворенных в воде. Повышенное их содержание может оказать отрицательное воздействие на рост и развитие растений. При интенсивных поливах и высоких начальных концентрациях отдельные элементы питания могут не расходоваться растением и постепенно накапливаться в субстрате, формируя лимитирующую развитие растения концентрацию. Поэтому важно определить полный химический состав воды, хотя бы в момент начала функционирования питомника. Результаты элементного химического анализа воды для РЛССЦ и Могилевского лесхоза, а также их сравнение с пороговыми значениями приведены в табл. 3.

Результаты анализа показали, что превышение значений показателей, рекомендуемых польскими учеными, наблюдаются только по железу в Могилевском лесхозе и по гидрокарбонатам по всем образцам. Однако именно последние в очень сильной степени влияют на раскисляющие свойства воды. Достаточно высокое содержание кальция и магния в воде также при длительных и интенсивных поливах существенно воздействует на кислотность субстрата. Так, при норме полива в 1,5 л через день за сезон на 1 м^2 будет внесено 8 г кальция и 3 г магния, которые практически не используются растением и будут взаимодействовать с субстратом, имеющим кислую реакцию.

Таблица 3

Результаты химического анализа образцов воды и пороговые значения

Наименование показателя	Пороговые значения [9], мг/ дм^3	Фактическое значение показателей (РЛССЦ), мг/дм^3	Фактическое значение показателя (Могилевский лесхоз), мг/дм^3
Натрий Na+	30,0	4,7	4,8
Калий K+	150	0,9	1,0
Аммоний NH4+	30,0 (вместе с NH_3)	<0,1	0,1
Кальций	100,0	57,6	60,8
Магний	50,0	16,5	21,4
Железо	0,30	0,23	0,64
Хлориды	30,0	9,5	19,6
Сульфаты	40,0	10,7	16,9
Нитраты	–	6,0	34,57
Нитриты	–	<0,01	<0,01
Гидрокарбонаты	150,0	247,1	237,5
Окисляемость	–	1,36	1,5
Сухой остаток	–	238	317
Минерализация	500	353	401,2
Жесткость, мг-экв/дм^3	–	4,23	4,8

Наиболее простым способом регулирования кислотности воды является использование кислот. Авторами были проведены эксперименты по раскислению воды с применением серной и азотной кислот. Серная кислота является наиболее эффективным раскислителем, а азотная обеспечивает растения дополнительным азотом. Зависимости изменения кислотности воды и EC азотной кислотой по образцам РЛССЦ и Воложинского лесхоза представлены на рис. 1 и 2 соответственно. Исходные образцы воды имели следующие параметры: РЛССЦ pH равно 8,14, EC – 341,4 μS/см; Воложинский лесхоз pH равно 7,95, EC – 373,2 μS/см.

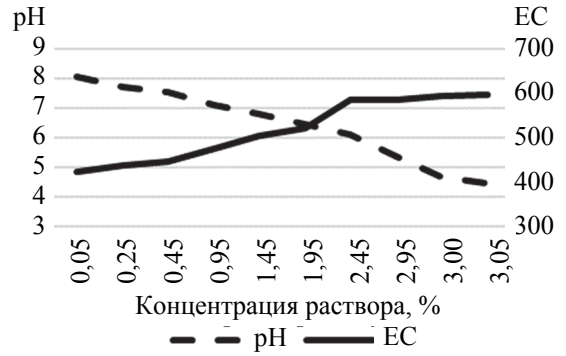


Рис. 1. Зависимости изменения кислотности воды и EC азотной кислотой для РЛССЦ

Предварительно готовился 1%-ный маточный раствор азотной и серной кислот, на основе которых составлялись растворы для проведения эксперимента.

Зависимости изменения кислотности воды и EC серной кислотой по образцам РЛССЦ и Воложинского лесхоза представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

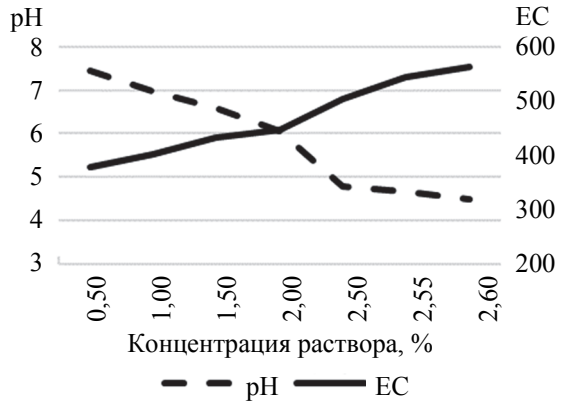


Рис. 2. Зависимости изменения кислотности воды и EC азотной кислотой для Воложинского лесхоза

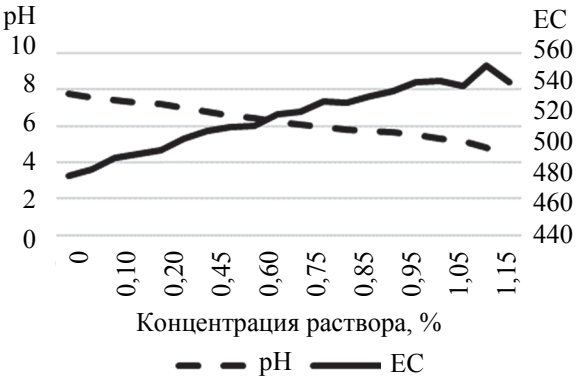


Рис. 3. Зависимости изменения кислотности воды и EC серной кислотой для РЛССЦ

Таким образом, для проведения работ по подкислению воды в питомниках можно использовать 1%-ный маточный раствор, что гораздо безопаснее, чем постоянно работать с растворами концентрированных кислот. На основе этого маточного раствора затем готовится рабочий раствор для полива.

Кроме того, влияние кислоты на pH воды зависит от ее исходных параметров. Чем выше исходное pH воды, тем большую концентрацию необходимо использовать. Например, для воды, используемой РЛССЦ и имеющей большее значение pH, для достижения значения в 5,0 pH необходимо использовать для полива 3,0%-ный рабочий раствор 1%-ного маточного раствора азотной кислоты. В то время как для воды, используемой в Воложинском лесхозе, это значение равно 2,5%. Для серной кислоты данное значение составляет 1,1 и 0,9% соответственно.

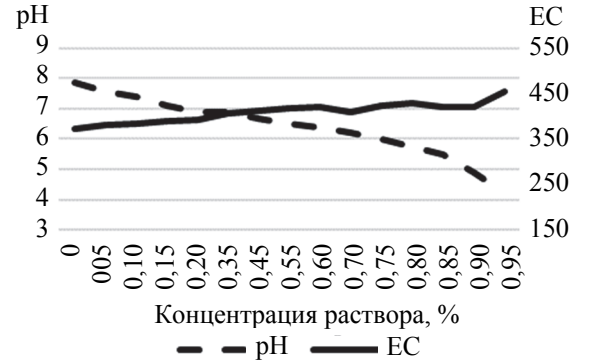


Рис. 4. Зависимости изменения кислотности воды и EC серной кислотой для Воложинского лесхоза

Несмотря на то, что кислота эффективно снижает значение pH воды, используемой для полива, ее применение имеет ряд негативных моментов. Во-первых, происходит существенный рост значения электрической проводимости воды, которая при достижении кислотности в 5,0 pH приближается к пороговому значению 500 μS/см, что может вызвать засоление субстрата при интенсивных поливах. Во-вторых, применение кислоты должно проводиться на постоянной основе, а это требует значительных объемов кислоты. Например, в Глубокском опытном лесхозе за 2020 г. было использовано около 2000 кг азотной кислоты. В-третьих, применение кислот, даже повышенной концентрации, для раскисления уже нейтрализованного субстрата имеет кратковременный эффект, не превышающий 1,5–2 недели. В-четвертых, постоянное использование подкисленной воды приводит к коррозии и деформации отдельных узлов и деталей поливных систем, которые в обычной комплектации не отличаются коррозионной стойкостью.

Заключение. Качественные показатели воды, используемой для полива, должны в обязательном порядке учитываться для получения качественного посадочного материала. Наиболее важными показателями являются кислотность и электрическая проводимость воды, которые легко могут контролироваться в полевых условиях. В Беларуси в лесных питомниках вода характеризуется нейтральной или близкой к ней реакцией среды, достаточно высоким содержанием растворенных солей и по кислотности не подходит для выращивания посадочного материала с ЗКС. Применение серной и азотной кислот для подкисления воды эффективно, но имеет ряд существенных недостатков. Оптимальный способ снижения негативного влияния поливной воды – использование субстрата с исходной кислотностью на 1,5–2,0 pH ниже оптимальной.

Список литературы

1. Отраслевая программа по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой в организациях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на период до 2020 года // Лесное и охотничье хозяйство. 2014. № 6. С. 17–30.

2. Крук Н. К. И опыт, сын ошибок трудных… // Лесное и охотничье хозяйство. 2013. № 10. С. 4–7.

3. Носников В. В. ЗКС за и против // Лесное и охотничье хозяйство. 2018. № 4. С. 13–17.

4. Жигунов А. В. Посадочный материал с закрытой корневой системой: мифы и реальность // Создание и использование постоянной лесосеменной базы на селекционной основе, перспективные методы выращивания посадочного материала и опыт создания лесных культур с закрытой корневой системой: тезисы докладов на совещании-семинаре. Нижний Новгород, 2005. С. 13–16.

5. Juntunen M., Rikala R. Fertilization practice in Finnish forest nurseries from the standpoint of environmental impact // New Forests. 2001. No. 21. P. 141–158.

6. Бобушкина С. В., Мочалов Б. А. Влияние некоторых факторов среды и технологических приемов на рост и развитие сеянцев сосны с закрытой корневой системой // Состояние лесов и актуальные проблемы лесоуправления: материалы Всерос. конф. с международным участием. Хабаровск, 2013. С. 107–111.

7. Heiskanen J. Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedlings // New Foresters. 1995. No. 9. P. 181–195.

8. Landis T. D., Tinus R. W., McDonald S. E., Barnett J. P. Seedling Nutrition and Irrigation // The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Vol. 4. 1989. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 119 p.

9. Fundamentals of container tree seedling production. St. Petersburg, Suonenjoki: St. Petersburg Forestry Research Institute: METLA, 2011. 28 p.

10. South B. D., Nadel L. R. Irrigation in pine nurseries // Reforesta. 2020. No. 10. P. 40–83.

11. Мочалов Б. А., Бобушкина С. В. Выращивание посадочного материала закрытой корневой системой в Архангельской области // Вестник МГУЛ. 2012. № 1 (84). С. 79–83.

12. Носников В. В Опыт использования и проблемные вопросы технологии закрытой корневой системы при лесовосстановлении в Беларуси // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. Вологда, 3 дек. 2019 г. Вологда: ВоГУ, 2019. С. 83–85.

13. Крук Н. К., Носников В. В., Ребко С. В. Современное состояние, проблемы и перспективы воспроизводства лесов в Беларуси // Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропоцену: монографія за заг. ред. проф. Ніколаєнка С. М. Київ: Ліра-К, 2019. С. 122–156.

14. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2018 год). Минск: М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2019. 222 с.

15. Szabla K., Pabian R. Szkółkarstwo kontenerowe. Warszawa, 2009. 250 s.

References

1. Sectoral program for the cultivation of container planting material in the organizations of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus for the period until 2020. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2014, no. 6, pp. 17–30 (In Russian).

2. Kruk N. K. And experience, son of difficult mistakes… *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2013, no. 10, pp. 4–7 (In Russian).

3. Nosnikov V. V. Container seedlings: pros and cons. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2018, no. 4, pp. 13–17 (In Russian).

4. Zhigunov A. V. Planting material with a closed root system: myths and reality. *Tezisy dokladov "Sozdaniye i ispol'zovaniye postoyannoy lesosemennoy bazy na selekcionnoy osnove, perspektivnye metody vyrashchivaniya posadochnogo materiala i opyt sozdaniya lesnykh kul'tur s zakrytoy kornevoy sistemoy"* [Theses of reports "Creation and use of a permanent forest seed base on a selection basis, promising methods of growing planting material and the experience of creating forest plantations with a closed root system"]. Nizhniy Novgorod, 2005, pp. 13–16 (In Russian).

5. Juntunen M., Rikala R. Fertilization practice in Finnish forest nurseries from the standpoint of environmental impact. *New Forests*. 2001, no. 21, pp. 141–158 (In English).

6. Bobushkina S. V., Mochalov B. A. The influence of some environmental factors and technological methods on the growth and development of pine seedlings with a closed root system. *Materialy Vseros. konf. s mezhdunarodnym uchastiyem "Sostoyaniye lesov i aktual'nyye problemy lesoupravleniya"* [Materials of the All-Russian conference with international participation "State of forests and topical problems of forest management"]. Khabarovsk, 2013, pp. 107–111 (In Russian).

7. Heiskanen J. Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedlings. *New Foresters*. 1995, no. 9, pp. 181–195 (In English).

8. Landis T. D., Tinus R. W., McDonald S. E., Barnett J. P. Seedling Nutrition and Irrigation. *The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk*, 1984, vol. 4. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 119 p.

9. *Fundamentals of container tree seedling production.* St. Petersburg, Suonenjoki, St. Petersburg Forestry Research Institute, METLA Publ., 2011. 28 p.

10. South B. D., Nadel L. R. Irrigation in pine nurseries. *Reforesta*, 2020, no. 10, pp. 40–83 (In English).

11. Molchalov B. A., Bobushkina S. V. Cultivation of container planting material in the Arkhangelsk region. *Vestnik MGUL* [Bulletin of the Moscow State Forest University], 2012, no. 84, pp. 79–83 (In Russian).

12. Nosnikov V. V. Experience of using and problematic issues of the technology of a closed root system in forest restoration in Belarus. *Materialy XVII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Aktual'nyye problemy razvitiya lesnogo kompleksa"* [Materials of the XVII International Scientific and Technical Conference "Actual problems of the development of the forestry complex"]. Vologda, VoGU Publ., 2019, pp. 83–85 (In Russian).

13. Kruk N. K., Nosnikov V. V., Rebko S. V. Current state, problems and prospects of forest reproduction in Belarus. *Vidtvorennya lisiv ta lisova melioratsiya v Ukraini: vitoki, suchasnyy stan, vykliki s]yogodennya ta perspektyvy v umovakh antropotseny* [Forest reproduction and forest reclamation in Ukraine: origins, current state, current challenges and prospects in the Anthropocene]. Kiev, Lira-K Publ., 2019, pp. 122–156 (In Ukrainian).

14. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Vodnyye resursy, ikh ispol'zovaniye i kachestvo vod (za 2018 god)* [State water cadastre. Water resources, their use and water quality (for 2018)]. Minsk, Ministerstvo prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Resp. Belarus' Publ., 2019. 222 p.

15. Szabla K., Pabian R. Szkółkarstwo kontenerowe. Warszawa, 2009. 250 p.

Информация об авторах

Носников Вадим Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nosnikov@belstu.by

Селищева Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Information about the authors

Nosnikov Vadim Valer'yevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nosnikov@belstu.by

Selishcheva Oksana Aleksandrovna – PhD (Agriculture), assistant lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Поступила 17.03.2021

УДК 630*114.25

В. В. Носников, А. В. Юреня, А. М. Граник, О. А. Селищева
Белорусский государственный технологический университет

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СУБСТРАТА И СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ

В статье изложены результаты исследований зависимости электропроводности водной вытяжки субстрата от содержания в нем основных элементов питания. Было выявлено, что величина электропроводности закономерно увеличивается с возрастанием содержания нитрат-ионов (коэффициент корреляции составил 0,661), при этом нет четкой зависимости электропроводности от изменения содержания ионов аммония (коэффициент корреляции – 0,052), однако при анализе содержания общего азота такая закономерность прослеживается (коэффициент корреляции – 0,660). Устойчивая зависимость роста величины электропроводности прослеживается и при увеличении содержания ионов калия, фосфат-ионов, а также общего содержания элементов питания (коэффициент корреляции, соответственно, 0,628, 0,646, 0,761). Таким образом, с помощью экспресс-метода анализа электропроводности субстрата можно судить и о количестве внесенного в него комплексного минерального удобрения. Данный метод может рассматриваться как метод контроля содержания основных элементов питания при приготовлении субстратов за исключением аммонийного азота.

Ключевые слова: субстрат торфяной, элементы питания, электропроводность, кислотность, коэффициент корреляции.

Для цитирования: Носников В. В., Юреня А. В., Граник А. М., Селищева О. А. Взаимосвязь электропроводности субстрата и содержания основных элементов питания // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 88–92.

V. V. Nosnikov, A. V. Yurenya, A. M. Granik, O. A. Selishcheva
Belarusian State Technological University

RELATIONSHIP OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SUBSTRATE AND CONTENT OF MAIN NUTRIENTS

The article presents the results of studies of the dependence of the electrical conductivity of the water extract of the substrate on the content of the main nutrients in it. It was found that the value of the electrical conductivity naturally increases with an increase in the content of nitrate ions (the correlation coefficient was 0.661), while there is no clear dependence of the electrical conductivity on the change in the content of ammonium ions (the correlation coefficient is 0.052), however, when analyzing the content of total nitrogen, such a regularity traceable (correlation coefficient – 0.660). A stable dependence of an increase in the value of electrical conductivity is also traced with an increase in the content of potassium ions, phosphate ions, as well as the total content of nutrients (the correlation coefficient is, respectively, 0.628, 0.646, 0.761). Thus, using the express method of analyzing the electrical conductivity of the substrate, it is possible to judge the amount of complex mineral fertilizer introduced into it. This method can be considered as a method for controlling the content of basic nutrients in the preparation of substrates, with the exception of ammonium nitrogen.

Key words: peat substrate, nutrients, electrical conductivity, acidity, correlation coefficient.

For citation: Nosnikov V. V., Yurenya A.V., Granik A.M., Selishcheva O. A. Relationship of electrical conductivity of substrate and content of main nutrients. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 88–92 (In Russian).

Введение. Передовые технологии в тепличном хозяйстве базируются на особенностях применяемого субстрата и оптимизации режима питания. Выращивание сеянцев с закрытой корневой системой осуществляется преимущественно на субстрате, приготовленном на основе торфа верхового типа болот [1, 2, 3]. Для обогащения элементами питания в субстрат вносятся комплексные минеральные удобрения [1]. В состав используемых удобрений входит достаточно большое количество макро- и микроэлементов [1, 4, 5].

Лабораторный агрохимический анализ как более точный метод не всегда доступен и имеет большую продолжительность проведения, а также экономически более затратный. Все питательные вещества, доступные растениям, находятся в субстрате в виде ионов. Ионы могут создавать электрический поток в водном растворе, который пропорционален их концентрации.

Поэтому общее содержание солей в растворах определяют по величине их электропроводности или EC (Electrical conductivity) [6]. Принцип измерения «активности» солей был разработан проф. Тепе, бывшим директором НИИ почвоведения и питания растений в Гессенхейме (Германия) и в настоящее время широко применяется как наиболее легкий, быстрый и информативный способ контроля за процессом питания растений. Измерительные зонды выполнены из нержавеющей стали. Особых условий для ухода и хранения зондов и прибора не требуется [7]. Использование метода кондуктометрии позволяет в полевых условиях довольно оперативно определить в нем содержание водорастворимых удобрений. Однако данный метод не дает информации о количественном содержании в субстрате конкретных элементов питания [6, 8].

Основная часть. Для определения взаимосвязи электропроводности вытяжки субстрата и содержания в нем элементов питания в лабораторных условиях были проведены исследования. В качестве материала исследования использовались субстраты для выращивания сеянцев древесных видов с закрытой корневой системой.

Величина электропроводности субстратов производилась в водной вытяжке (в соотношении 1 : 5 по объему [9]. Для определения химических свойств субстрата применялись следующие методы исследования: величина pH – с помощью pH-метра в солевой вытяжке KCl [10]; обменный калий – по методу А. Д. Масловой на пламенном фотометре [11], подвижные формы фосфора – по методу А. Т. Кирсанова колориметрическим методом в соляно-кислой вытяжке [12]; подвижный аммиачный азот – колориметрическим методом в соляно-кислой вытяжке [13], определение нитратов колориметрическим методом с помощью фенолдисульфокислоты [14, 15].

Субстраты были разделены на две группы: в первой группе при приготовлении добавлялись известковые материалы для оптимизации кислотности, во второй – не добавлялись. Эти исследования были проведены в связи с тем, что в нераскисленных субстратах содержится большое количество катионов водорода, подкисляющих торф и влияющих на электропроводность вытяжки.

На рис. 1 представлена взаимосвязь величины pH и электропроводности субстрата в образцах с внесением известковых материалов.

Как видно из графика взаимосвязи, величина электропроводности закономерно увеличивается с возрастанием величины pH в раскисленных известковыми материалами образцах. При этом имеет довольно высокую корреляцию (коэффициент корреляции – 0,74, а коэффициент детерминации – 0,547).

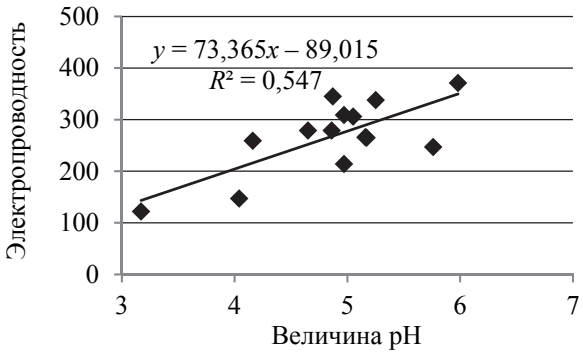


Рис. 1. Взаимосвязь величины pH и электропроводности субстрата

На рис. 2 представлена зависимость величины pH и электропроводности субстрата в образцах, в которые не вносились известковые материалы.

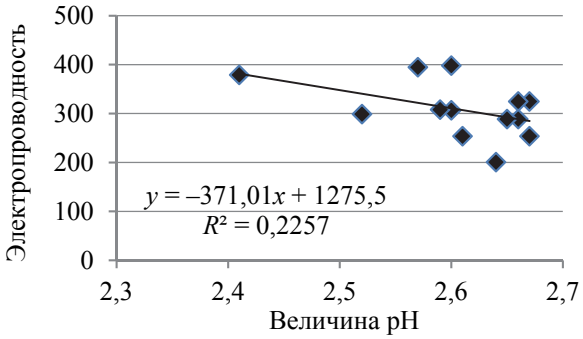


Рис. 2. Взаимосвязь величины pH и электропроводности субстрата

Как видно из анализа взаимосвязи, величина электропроводности, наоборот, закономерно уменьшается с возрастанием величины pH в не раскисленных известковыми материалами образцах. При этом имеет невысокую корреляцию (коэффициент корреляции составил 0,475, а коэффициент детерминации – 0,2257).

На рис. 3 отображена зависимость содержания нитратных ионов и электропроводности субстрата.

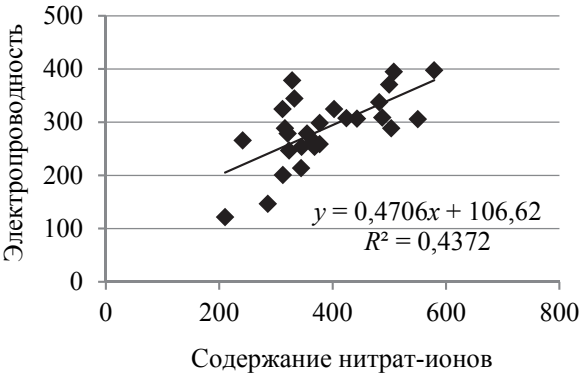


Рис. 3. Взаимосвязь содержания нитратных ионов и электропроводности субстрата

Из рисунка видно, что величина электропроводности закономерно увеличивается с возрастанием содержания нитрат-ионов. При этом имеет среднюю корреляцию (коэффициент корреляции составил 0,661, а коэффициент детерминации – 0,4372).

На рис. 4 представлена взаимосвязь содержания аммонийных анионов и электропроводности субстрата.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что величина электропроводности не имеет прослеживаемой зависимости с изменением содержания ионов аммония в субстрате (коэффициент корреляции составил всего 0,052).

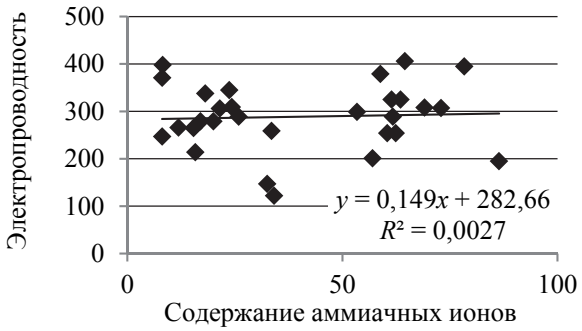


Рис. 4. Взаимосвязь содержания ионов аммония и электропроводности субстрата

На питание растений влияет совместно нитратный и аммонийный азот, поэтому был построен график взаимосвязи общего (аммонийной и нитратной форм) азота с электропроводностью.

На рис. 5 представлена взаимосвязь общего количества нитратных и аммонийных ионов и электропроводности субстрата.

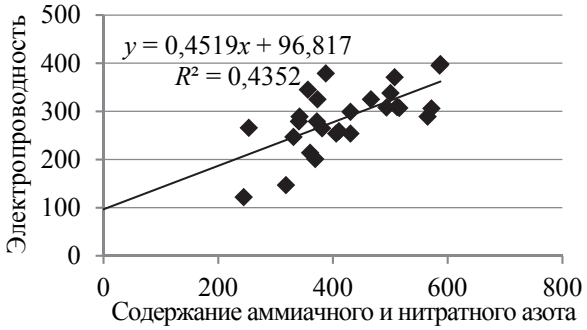


Рис. 5. Взаимосвязь содержания общего азота и электропроводности субстрата

Анализируя полученные данные, можно утверждать, что величина электропроводности закономерно увеличивается с возрастанием содержания нитратных и аммиачных ионов. При этом имеет среднюю корреляцию (коэффициент корреляции составил 0,660, а коэффициент детерминации – 0,4352).

На рис. 6 отображена зависимость содержания фосфат-ионов и электропроводности субстрата.

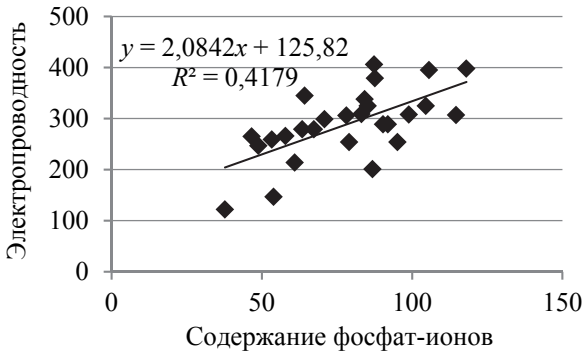


Рис. 6. Взаимосвязь содержания фосфат-ионов и электропроводности субстрата

Полученные результаты показали, что величина электропроводности закономерно увеличивается с возрастанием содержания фосфат-ионов. При этом имеет среднюю корреляцию (коэффициент корреляции составил 0,646, а коэффициент детерминации – 0,4179).

На рис. 7 представлена взаимосвязь ионов калия и электропроводности субстрата.

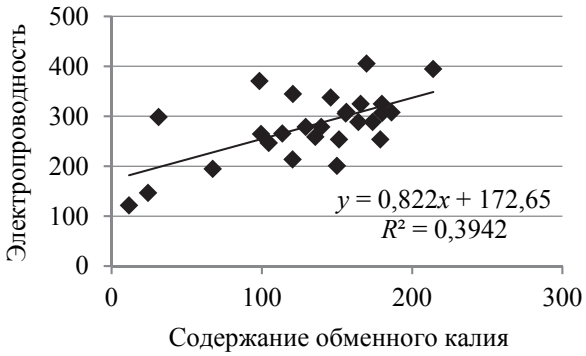


Рис. 7. Взаимосвязь содержания ионов калия и электропроводности вытяжки субстрата

Исследование показало, что величина электропроводности закономерно увеличивается с возрастанием содержания ионов калия. При этом имеет среднюю корреляцию (коэффициент корреляции составил 0,628, а коэффициент детерминации – 0,3942).

Дополнительно для проведения анализа были исследованы образцы на основе верхового торфа, в которых была установлена электропроводность в водной вытяжке и общее содержание основных ионов. Для сравнения величин катионов величина pH была переведена с абсолютных единиц в концентрацию водородных ионов. Так как величина pH – это логарифм концентрации водородных ионов, а в обратном пересчете – концентрация ионов водорода рассчитана как цифра в степени величины pH.

На рис. 8 представлена взаимосвязь общего содержание основных ионов и электропроводности вытяжки субстрата.

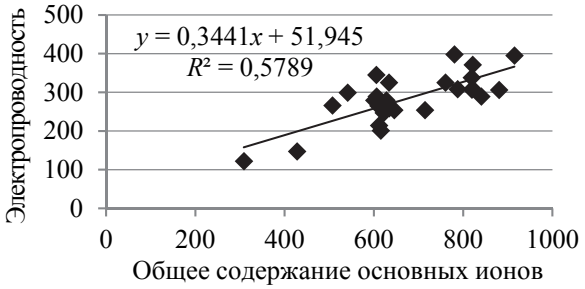


Рис. 8. Взаимосвязь содержания общего содержание основных ионов и электропроводности субстрата

Как видно из анализа взаимосвязи, величина электропроводности закономерно увеличивается с возрастанием общего содержание основных ионов. При этом имеет довольно высокую корреляцию между показателями (коэффициент корреляции составил 0,761, а коэффициент детерминации – 0,5789).

Заключение. Установлена взаимосвязь между электропроводностью и содержанием ионов основных элементов питания, содержащихся в составе используемых комплексных удобрений. Коэффициент корреляции между содержанием отдельных ионов в растворе и величиной электропроводности составил от 0,62 до 0,66 (за исключением аммонийного азота, в котором величина коэффициента корреляции составила 0,052), а при анализе суммарного количества катионов возрос до 0,76. Следовательно, можно утверждать, что с помощью экспресс-метода анализа электропроводности субстрата можно судить и о количестве внесенного в него комплексного минерального удобрения. Из этого заключаем, что определение электропроводности (ЕС) может рассматриваться как метод контроля содержания основных элементов питания при приготовлении субстратов. Исключение может быть для аммонийного азота, поскольку содержание данной формы азота в субстратах может варьировать из-за того, что соли аммония могут распадаться под воздействием как внешних факторов, так и в процессе реакций обмена, происходящих в почвенном растворе, с выделением аммиака в атмосферу.

Список литературы

1. Материал лесной посадочный хвойных пород с закрытой корневой системой. Технические условия: ТУ BY 100061961.001-2015. Введ. 2015. Минск: МЛХ, 2015. 6 с.

2. Отраслевая программа по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой в организациях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на период до 2020 года // Лесное и охотничье хозяйство. 2014. № 6. С. 17–30.

3. Каштелян Т. В., Юреня Е. Г. Ресурсно-экологические и экономические трансформации сквозь призму институций циркулярного формата // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2020. № 1. С. 73–79.

4. Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для лесовосстановления: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук. СПб.: Изд-во СПбЛТА,1998. 47 с.

5. Технология выращивания посадочного материала сосны и ели с закрытой корневой системой: научно-техническая информация в лесном хозяйстве. Минск, РУП «Белгипролес», 2007. Вып. 4. 32 с.

6. Шишкин П. В. Контроль технологических параметров при выращивании сельскохозяйственных культур // Гавриш. 2012. № 4. С. 17–15.

7. Step Systems by Step Systems. URL: https://issuu.com/stepsystems7/docs/katalog_rus_web?e=22545794/35614488 (дата обращения: 21.09.2017).

8. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. – 424 с.

9. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Метод определения содержания водорастворимых солей: ГОСТ 27894.9–88. Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 4 с.

10. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности: ГОСТ 11623–89. Введ. 1991-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1991. 6 с.

11. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Определение подвижных форм калия: ГОСТ 27894.6–88. Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1989. 6 с.

12. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Определение подвижных форм фосфора: ГОСТ 27894.5–88. Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1989. 8 с.

13. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения аммиачного азота: ГОСТ 27894.3–88. Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1989. 10 с.

14. Соколовский И. В., Домасевич А. А., Юреня А. В. Практикум по почвоведению с основами земледелия. Минск: БГТУ, 2016. 184 с.

15. Блинцов И. К., Забелло К. Л. Практикум по почвоведению. Минск: Выш. школа, 1979. 207 с.

References

1. ТУ BY 100061961.001-2015. Material forest planting conifers with closed root system. Specifications. Minsk, MLKh Publ., 2015. 6 p. (In Russian)

2. Sectoral program for growing seedlings with closed root system in the organization of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus for the period up to 2020. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2014, no. 6, pp. 17–30 (In Russian).

3. Kashtelyan T. V., Yurenya E. G. Resource-ecological and economic transformations through the prism of circular institutions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 5, Economics and Management, 2020, no. 1, pp. 73–79 (In Russian).

4. Zhigunov A. V. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy dlya lesovosstanovleniya. Avtoref. dis. … d-ra s.-kh. nauk* [Theory and practice of growing a planting material with a closed root system for reforestation Diss. DSc (Agriculture Science)]. St. Petersburg, SPbLTA Publ., 1998. 47 p.

5. *Tekhnologiya vyrashchivaniya posadochnogo materiala sosny i eli s zakrytoy kornevoy sistemoy: nautchno-tekhnitcheskaya informatsiya v lesnom khozyaystve* [Technology of cultivation of planting material of pine and spruce with closed root system: scientific and technical information in forestry]. Minsk, RUP "Belgiproles" Publ., 2007, issue 4, 32 p. (In Russian).

6. Schischkin P. V. Control of technological parameters in the cultivation of crops. *Gavrish* [Gavrish], 2012, no. 4, pp. 15–17 (In Russian).

7. Step Systems by Step Systems. Avalaible at: https://issuu.com/stepsystems7/docs/katalog_rus_web?e=22545794/35614488 (accessed 21.09.2017).

8. Zaytsev G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p.

9. GOST 27894.9–88. Peat and products of its processing for agriculture. Method for determining the content of water-soluble salts. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 4 p. (In Russian).

10. GOST 11623–89. Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determining exchangeable and active acidity. Moscow, Standartinform Publ., 1991. 6 p. (In Russian).

11. GOST 27894.6–88. Peat and products of its processing for agriculture. Determination of mobile forms of potassium. Moscow, Standartinform Publ., 1989. 6 p. (In Russian).

12. GOST 27894.5–88. Peat and products of its processing for agriculture. Determination of mobile forms of phosphorus. Moscow, Standartinform Publ., 1989. 8 p. (In Russian).

13. GOST 27894.3–88. Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of ammonia nitrogen. Moscow, Standartinform Publ., 1989. 10 p. (In Russian).

14. Sokolovskiy I. V., Domasevitch A. A., Yurenya A. V. *Praktikum po pochvovedeniyu s osnovami zemledeliya* [Workshop on soil science with the basics of agriculture]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 184 p.

15. Blintsov I. K., Zabello K. L. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on Soil]. Minsk, Vysh. shkola Publ., 1980. 207 p.

Информация об авторах

Носников Вадим Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nosnikov@belstu.by

Юреня Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: urenya@belstu.by

Граник Александр Михайлович – магистр сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: granik@belstu.by

Селищева Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Information about the authors

Nosnikov Vadim Valer'yevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nosnikov@belstu.by

Yurenya Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urenya@belstu.by

Granik Aleksandr Mikhaylovich – Master of Agriculture, assistant lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: granik@belstu.by

Selishcheva Oksana Aleksandrovna – PhD (Agriculture), assistant lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Поступила 15.03.2021

УДК 630*165.3:630*17:582.632.2

В. Е. Падутов
Институт леса Национальной академии наук Беларуси

ПРОЦЕССЫ ГИБРИДИЗАЦИИ ДУБА ЧЕРШЧАТОГО И ДУБА СКАЛЬНОГО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Проведен молекулярно-генетический анализ гибридов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и дуба скального (*Q. petraea* [Matt.] Liebl.), а также потомства от скрещивания гибридов и родительских видов. Все особи были разделены на шесть групп, отражающих таксономическую принадлежность растений (на основании схем скрещиваний и исследования морфологических признаков): 1 – *Q. petraea* (P: *Q. petraea*); 2 – *Q. robur* (P: *Q. robur*); 3 – Гибрид (P: *Q. petraea*); 4 – Гибрид (P: *Q. robur*); 5 – *Q. petraea* (P: Гибрид); 6 – Гибрид (P: Гибрид). С использованием RAPD-маркеров (OP-R11, OP-R05, OP-R10, OP-G06) и SSR-маркеров (ssrQpZAG15, ssrQpZAG9, ssrQpZAG46, ssrQpZAG7) проведена оценка уровня генетического полиморфизма в каждой из шести групп и степень дифференциации между ними. Выявлены отклонения от равновесного состояния популяционно-генетических параметров, которые позволяют говорить об ассортативном скрещивании между двумя видами. Показано, что в ходе интрогрессии участвует ограниченное число вариантов генотипов. Это отражается на генетической структуре гибридного потомства в виде более низких значений показателей изменчивости и внутрипопуляционной подразделенности по сравнению с насаждениями исходных видов.

Ключевые слова: полусибсовое потомство, межвидовые гибриды дуба, микросателлиты, SSRs, RAPD.

Для цитирования: Падутов В. Е. Процессы гибридизации дуба черешчатого и дуба скального по результатам молекулярно-генетического анализа // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 93–102.

V. E. Padutov
Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus

PROCESSES OF HYBRIDIZATION IN SESSILE AND PEDUNCULATE OAK BY THE RESULTS OF MOLECULAR GENETIC ANALYSIS

Molecular genetic analysis of hybrids of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and sessile oak (*Q. petraea* [Matt.] Liebl.), as well as offspring from crossing of hybrids and parental species was carried out. All individuals were divided into six following groups reflecting the taxonomic affiliation of plants (based on cross-breeding schemes and studies of morphological characters). They are 1 – *Q. petraea* (P: *Q. petraea*); 2 – *Q. robur* (P: *Q. robur*); 3 – Hybrid (P: *Q. petraea*); 4 – Hybrid (P: *Q. robur*); 5 – *Q. petraea* (P: Hybrid); 6 – Hybrid (P: Hybrid). The level of genetic polymorphism in each of the six groups and the degree of differentiation between them were assessed using RAPD markers (OP-R11, OP-R05, OP-R10, OP-G06) and SSR markers (ssrQpZAG15, ssrQpZAG9, ssrQpZAG46, ssrQpZAG7). Deviations from the equilibrium state of population genetic parameters were revealed, which allow us to speak about assortative mating between the two species. It is shown that a limited number of genotype variants are involved in the introgression process. Lower values of the variability indices and intrapopulation subdivision in genetic structure of hybrid offspring in comparison with the stands of the parental species reflect this tendency.

Ключевые слова: half-sib families, interspecifc oak hybrids, microsatellites, simple sequence repeats(SSRs), randomly amplifed polymorphic DNA (RAPD).

For citation: Padutov V. E. Processes of hybridization in sessile and pedunculate oak by the results of molecular genetics analysis. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 93–102 (In Russian).

Введение. Среди лиственных древесных видов представители рода *Quercus* занимают особое место с экономической и экологической точки зрения. Кроме того, дубы являются уникальным модельным объектом для изучения процессов адаптации к различным абиотическим

факторам окружающей среды, что связано с широким ареалом их распространения и разнообразием условий произрастания [1–3].

Род Дуб (*Quercus*) насчитывает около 600 видов, произрастающих в основном в умеренном и тропическом поясе Северного полушария, а также в северной части Южной Америки. В Европе наиболее распространенными видами являются дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и дуб скальный (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.), формирующие чистые и смешанные дубравы либо присутствующие в древостоях в виде сопутствующей породы [4]. Несмотря на различные требования к эдафическим условиям и гидрологическому режиму, данные виды способны произрастать совместно, однако распределение деревьев в смешанных древостоях в большинстве случаев соответствует градиенту влажности и плодородия почвы [5]. На территории Беларуси в естественных условиях произрастания встречаются оба указанных вида. Дуб скальный распространен на юго-западе Беларуси в островных участках леса на восточной границе своего ареала, а дуб черешчатый – практически повсеместно, при этом 63,5% общей площади дубрав страны находится на юге в Белорусском Полесье.

Необходимо отметить, что наряду с выраженной экологической дифференциацией дуба в местах контакта популяций различного генетического происхождения активно протекают процессы меж- и внутривидовой гибридизации, обеспечивающей возникновение новых комбинаций генов и генотипов. Отсутствие строгой репродуктивной изоляции между симпатрическими видами *Q. robur* и *Q. petraea* наряду с интенсивным пыльцевым потоком зачастую приводит к образованию фертильных межвидовых гибридов, а также появлению в ходе дальнейших скрещиваний различных вариантов гибридного потомства [6]. Локальный перенос генов между видами может обеспечить расширение ареалов и повысить их приспособляемость к новым лесорастительным условиям. Изучение различных аспектов, связанных с межвидовой гибридизацией дуба черешчатого и дуба скального, представляет собой особую ценность для оценки состояния генофондов видов, изучения механизмов формирования адаптивной изменчивости, получения новых данных о протекающих в популяциях микроэволюционных процессах [7]. Практической стороной данного вопроса является использование результатов исследований в ходе разработки и реализации селекционных мероприятий, связанных с получением высокопродуктивных и устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды генотипов. Особую актуальность исследования по гибридизации приобретают в связи с усилением процессов массовой деградации и усыхания дубрав, снижением уровня плодоношения и отсутствием естественного возобновления на значительной части ареала дуба.

Несмотря на широкий спектр признаков, которые могут быть использованы для таксономии у рассматриваемых двух видов, многие из них характеризуются индивидуальной, географической, экологической, сезонной и другими типами изменчивости. Исходя из всего вышеперечисленного установление принадлежности деревьев к *Q. robur* или к *Q. petraea* до настоящего времени основано в большинстве случаев на анализе нескольких морфологических признаков, таких как форма листовой пластинки и почки, длина черешка, окраска и текстура желудей, форма кроны, распределение скелетных ветвей и др. [8]. Однако использование морфологического метода в качестве диагностического критерия для анализа процессов межвидовой гибридизации дубов имеет ряд ограничений как субъективного, так и объективного характера, в первую очередь связанного с наличием широкого спектра переходных форм гибридных генотипов *Q. robur*×*Q. petraea* и отсутствием четкой дискретности используемых морфологических признаков. Большой диапазон изменчивости и высокий уровень субъективизма делает затруднительным отнесение индивидуумов к тому или иному таксону [9].

Применение различных методов ДНК-анализа также не позволило выявить четкие генетические маркеры для диагностики симпатрических видов *Q. robur* и *Q. petraea*. Так, из 2800 изученных RAPD-локусов только около 54 показали достоверные различия в частотах встречаемости аллельных вариантов [10]. Аналогичные результаты были получены и при анализе AFLP-маркеров [11]. Проведенные исследования по более чем 30 изоферментным локусам выявили 3 гена, характеризовавшихся межвидовыми различиями. В качестве примера можно привести ген, детерминирующий изоцитратдегидрогеназу (IDH). Последующее секвенирование гена Idh позволило выявить значительное число SNPs, имеющих достоверную корреляцию с используемыми основными морфологическими признаками [12]. В то же время четкого видоспецифического нуклеотидного полиморфизма не было выявлено, что связано с наличием межпопуляционных различий для каждого изученного вида. Низкий уровень межвидовой дифференциации также получен и для других STS-маркеров [13]. Еще одним направлением в поиске межвидовых отличий явился анализ локусов, локализованных в геномах цитоплазматических

органоидов, – хлоропластах и митохондриях. Их преимуществом являются, во-первых, отсутствие видимой рекомбинации локусов хпДНК (хлоропластной) и мтДНК (митохондриальной), во-вторых, передача признаков по материнской линии, что в совокупности позволяет рассматривать цитоплазматические маркеры удобным инструментом для видовой идентификации [14]. Тем не менее первоначальный анализ европейских насаждений показал общность гаплотипических вариантов хпДНК для *Q. robur* и *Q. petraea* [15]. При этом, как было продемонстрировано в более поздних исследованиях, низкий уровень дифференциации хлоропластных геномов дубов наблюдался не только среди близкорасположенных насаждений, но и в местах перекрывания ареалов данных видов [7]. Сходные данные были получены и для локусов мтДНК [16]. Вследствие этого было сделано предположение об интенсивном обмене генетическим материалом между *Q. robur* и *Q. petraea* в эпоху последнего оледенения или в ходе постледникового расселения данных видов на территории Европы [9].

Наличие постоянных интенсивных процессов гибридизации при совместном произрастании дуба черешчатого и дуба скального, по всей вероятности, должны оказывать влияние на популяционно-генетическую структуру древостоев: увеличение уровня наблюдаемой гетерозиготности (вследствие наличия гибридного потомства), степени генотипического разнообразия, внутрипопуляционной подразделенности и дифференциации. Проведенный анализ системы скрещиваний в смешанных дубовых насаждениях выявил дисбаланс в частотах встречаемости генотипических вариантов [17]. Избирательный характер скрещивания может быть объяснен наличием репродуктивной изоляции: предзиготической (различием в сроках цветения, конкуренцией при прорастании пыльцевых зерен и оплодотворении) и постзиготической (пониженной жизнеспособностью или гибелью гибридов на разных стадиях онтогенеза). Как было показано в последующих исследованиях (при проведении серии искусственных скрещиваний и последующей оценки гибридного потомства), наибольшей вклад в репродуктивную изоляцию вносит предзиготической барьер [18]. Так, например, яйцеклетки *Q. petraea* оплодотворяются в основном спермиями этого же вида, в отличие от *Q. robur* [9].

Несмотря на проведенные широкомасштабные молекулярно-генетические исследования, ряд аспектов остается актуальным, в том числе анализ генетической структуры гибридного потомства от различного типа возвратных скрещиваний. Целью данной работы явилось изучение особенностей генетической структуры гибридного потомства *Q. robur*×*Q. petraea* различного типа происхождения.

Основная часть. Объектом исследования являлись 40 полусибсовых семей *Quercus*, которые были разделены на шесть групп, отражающих таксономическую принадлежность (на основании схем скрещиваний и исследования морфологических признаков): 1 – *Q. petraea* (P: *Q. petraea)*; 2 – *Q. robur* (P: *Q. robur*); 3 – Гибрид (P: *Q. petraea*); 4 – Гибрид (P: *Q. robur*); 5 – *Q. petraea* (P: Гибрид); 6 – Гибрид (P: Гибрид).

Препараты суммарной ДНК были получены из листовых пластинок на основании использования модифицированного CTAB-протокола [19]. Молекулярно-генетический анализ был выполнен на базе использования двух типов маркеров:

а) SSR-локусы, каждый из которых характеризуется большим аллельным разнообразием (мультиаллельная система);

б) RAPD-локусы, которые отличаются низким аллельным разнообразием, но большим числом локусов, дисперсно расположенных в геноме (диаллельная система).

Для получения достоверных результатов RAPD-анализа в ходе исследований выполнялись следующие требования: использование только яркоокрашенных специфичных фракций, трехкратная повторность амплификации каждого образца, предварительный анализ препаратов суммарной ДНК на отсутствие грибной и бактериальной инфекции с помощью универсальных праймеров [20, 21].

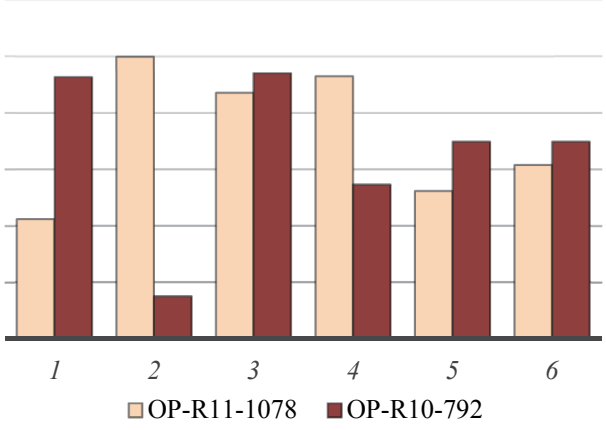
Для проведения ПЦР-амплификации был использован High-Fidelity DNA Polymerase (5Taq:1Pfu) Master mix (Праймтех, Беларусь). Условия проведения ПЦР-реакции соответствовали рекомендуемому протоколу фирмы-производителя. В качестве SSR- и RAPD-праймеров были использованы наборы олигонуклеотидных последовательностей, ранее показавших свою эффективность [22, 23].

Электрофоретический анализ ампликонов SSR-локусов был выполнен с помощью генетического анализатора ABI PRISM 310 (Life-Technologies, USA) согласно инструкции компании-изготовителя. RAPD-фрагменты были проанализированы в 1,4%-ном агарозном геле с применением 1,5×TBE буфера по стандартной методике, с последующим окрашиванием бромистым этидием и визуализацией в УФ-свете [19].

Интерпретация результатов, генотипирование образцов, статистическая обработка и расчет основных популяционно-генетических параметров были осуществлены согласно общепринятой системе [24].

В ходе предварительного тестирования набора микросателлитных локусов было отобрано четыре SSR-маркера: ssrQpZAG15, ssrQpZAG9, ssrQpZAG46 и ssrQpZAG7, показавших статистически достоверные различия в аллельном или генотипическом разнообразии между *Q. robur* и *Q. petraea.* Среди RAPD-праймеров наиболее информативными оказались OP-R11, OP-R05, OP-R10 и OP-G06, в ПЦР-спектрах которых были выявлены диагностически значимые зоны.

Доля полиморфных RAPD-локусов (по 99%-ному критерию) варьировала от 79% для Гибрид (P: *Q. robur*) до 100% у *Q. robur* (P: *Q. robur*) и *Q. petraea* (P: *Q. petraea*). Аналогично для этих групп изменялась величина такого параметра, как среднее число аллелей на локус – от 1,790 до 2,000. Уровень генетического разнообразия Неи для исследованных групп варьировал от 0,277 для Гибрид (P: *Q. robur*) до 0,324 у *Q. robur* (P: *Q. robur*) и в целом составлял 0,331. Детальный анализ параметров генетического полиморфизма среди отдельных локусов выявил закономерности в распределении показателя генетического разнообразия Неи в зависимости от диагностической значимости маркеров. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты анализа по двум локусам OP-R11^{1078} и OP-R10^{792}. Как видно, на диаграмме видоспецифические локусы имеют наибольший уровень генетического разнообразия в одной из групп семей, представленных негибридными генотипами. При этом в альтернативной группе данный локус характеризуется наименьшим уровнем генетического полиморфизма, а гибридные генотипы занимают промежуточное положение, что соответствует методологии анализа признаков с доминантным характером проявления [24].



1 – *Q. petraea* (P: *Q. petraea)*; *2* – *Q. robur* (P: *Q. robur*); *3* – Гибрид (P: *Q. petraea*); *4* – Гибрид (P: *Q. robur*); 5 – *Q. petraea* (P: Гибрид); *6* – Гибрид (P: Гибрид)

Рис. 1. Уровень генетического разнообразия Неи RAPD-локусов OP-R11^{1078} и OP-R10^{792} в исследуемых группах семей *Quercus*

В ходе SSRP-анализа ядерной ДНК исследуемых групп рода *Quercus* установлено, что аллельное разнообразие среди изученных микросателлитных локусов было неодинаковым, варьируя от низкого у ssrQpZAG15 (9 аллелей) до высокого у ssrQpZAG46 (32). Среднее число вариантов выявлено для ssrQpZAG9 (23) и ssrQpZAG7 (20). При этом следует отметить, что большинство найденных аллельных вариантов для каждого микросателлитного локуса имели низкую частоту встречаемости или были представлены в единичных случаях. С одной стороны, данные варианты отражают локальную географическую изменчивость и могут быть использованы для оценки величины генного потока между популяциями; с другой – увеличивают степень внутривидовой подразделенности, что снижает диагностическую ценность маркера для выявления межвидовых различий *Q. robur* и *Q. petraea*. Кроме того, повышенная мутабильность генетического маркера увеличивает вероятность появления гомоплазии аллельных вариантов, и, как следствие, ложного занижения уровня межвидовой дифференциации.

При оценке уровня генетического полиморфизма исследованных групп семей по SSR-локусам обращает на себя внимание то, что, как видно из диаграммы (рис. 2), наименьшими значениями наблюдаемой гетерозиготности характеризуется гибридное потомство, происходящее от исходных видов – *Q. robur* и *Q. petraea*.

1 – *Q. petraea* (P: *Q. petraea)*; *2* – *Q. robur* (P: *Q. robur*); *3* – Гибрид (P: *Q. petraea*); *4* –Гибрид (P: *Q. robur*); *5* – *Q. petraea* (P: Гибрид); *6* – Гибрид (P: Гибрид)

Рис. 2. Уровень гетерозиготности изученных групп семей на основании анализа SSR-локусов

Это противоречит биологической концепции процесса гибридизации, однако может быть объяснено ограниченным числом индивидуумов, участвующих в скрещивании вследствие

наличия репродуктивного барьера – несовпадение сроков цветения, прогамная несовместимость и др. [25]. При этом уровень ожидаемой гетерозиготности был выше в случае материнских растений *Q. robur* по сравнению с *Q. petraea*, что указывает на избирательный характер опыления.

Исходя из данных, представленных на диаграмме, высоким уровнем наблюдаемой гетерозиготности среди гибридного потомства характеризуются полусибсовые семьи, происходящие от гибридных материнских растений. Увеличение доли гетерозиготных деревьев может быть обусловлено бóльшим количеством вариантов генотипов, участвующих в скрещивании, и высокой репродуктивной пластичностью всей группы в целом. Группа полусибсовых семей дуба скального, полученных от гибридных материнских растений, была наиболее однородна по генетической структуре, что и обусловило сходство значений параметров ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности. Для групп семей, представленных видами *Q. robur* и *Q. petraea*, уровень наблюдаемой гетерозиготности был несколько ниже ожидаемого, указывая на наличие инбредных процессов, происходящих при естественном опылении.

Использование набора RAPD-локусов в качестве генетических маркеров позволило для семей дуба разного происхождения выявить отличия в генетической структуре, связанные с представленностью и частотой встречаемости аллельных вариантов в той или иной группе. При этом достоверные различия среди групп семей были установлены у локусов, имеющих коэффициент генетической подразделенности G_{st}, превышающий 0,09. В то же время RAPD-маркеры с низким значением параметров подразделенности также характеризовались и незначительным уровнем дифференциации между группами, а полученные на основании их анализа результаты кластеризации на дендрограмме являлись статистически недостоверными и варьировали в широкой степени между локусами.

Направленность кластеризации с использованием локусов с $G_{st} > 0,09$ (57% от общего числа) в большинстве случаев носила сходный характер, что позволило использовать только данный набор маркеров для изучения степени генетической дифференциации изученных семей. Как видно из структуры дендрограммы (рис. 3), все исследованные группы разделяются на два отдельных кластера, один из которых включает семьи, представленные семенным потомством дуба черешчатого, другой характеризуется смешанным происхождением генотипов – от *Q. petraea* и гибридных материнских растений. Это указывает на то, что у большинства групп гибридных семей вклад дуба скального в их генетическую структуру превышает влияние дуба черешчатого, при этом следует добавить, что не удалось сформировать группу семей гибридного происхождения, имеющих фенотипические признаки дуба черешчатого.

Ранее в ходе анализа результатов искусственного опыления было показано, что материнские деревья *Q. robur* могут быть оплодотворены пыльцой обоих видов, а материнские деревья *Q. petraea* опыляются предпочтительней мужскими гаметами своего вида и гибридное потомство *Q. petraea*×*Q. robur* образуется в незначительном количестве [25]. Одним из возможных объяснений всего вышесказанного является наличие определенных репродуктивных преград, в результате действия которых происходит преимущественное опыление гибридов пыльцой *Q. petraea* или гибридов, по сравнению с *Q. robur*. Интересным моментом является большая близость к чистому дубу скальному потомства, имеющего те же видовые признаки, хотя и полученного от гибридного материнского дерева, по сравнению с потомством, обладающим гибридными чертами, но происходящим от материнского дерева дуба скального. Данный факт позволяет предположить особое значение отцовского пула генов на формирование видоспецифических признаков.

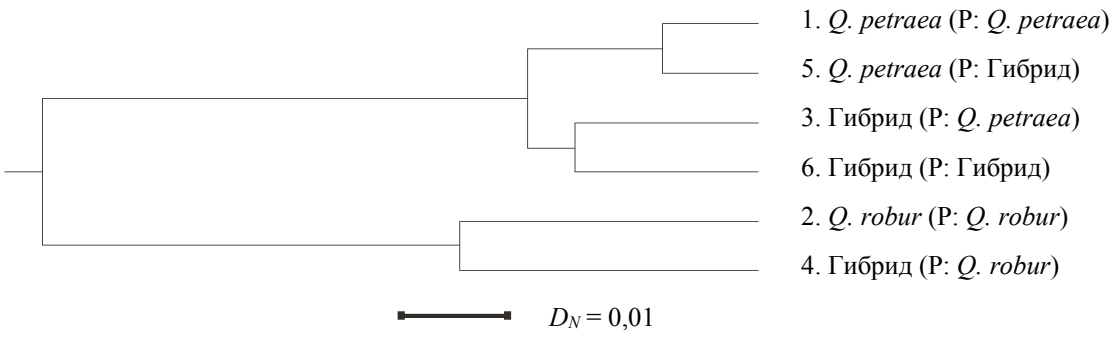


Рис. 3. Уровень генетической дифференциации изученных групп на основании анализа RAPD-локусов

Указанные выше объяснения можно рассматривать только как предположения, а не окончательно установленные факты, поскольку, проводя сравнительный анализ результатов исследования, необходимо учитывать доминантный характер RAPD-локусов, не позволяющий напрямую оперировать генотипами и частотами аллелей (они являются теоретически расчетными величинами). Это может вносить некоторые погрешности при определении параметров генетического полиморфизма, подразделенности и дифференциации, особенно в случае выборки с несбалансированной генотипической структурой. В то же время межвидовая гибридизация из-за наличия и степени проявления тех или иных типов репродуктивной изоляции практически всегда приводит к дисбалансу генотипической структуры внутри потомства.

Наряду с этим диаллельная система RAPD-маркеров для оценки процессов межвидовой гибридизации характеризуется своими преимуществами: межвидовые различия по частоте встречаемости амплифицируемых аллельных вариантов RAPD-локусов достаточно велики; вероятность возникновения гомоплазии доминантного аллеля в RAPD-анализе является крайне низкой; гибриды по диагностически значимым RAPD-локусам характеризуются наличием доминантного аллеля одного из родительских таксонов, что напрямую свидетельствует о видовых составляющих в генотипе гибридного потомства. Также следует добавить, что в последнее время выявление и изучение локусов, фланкируемых инвертированными повторами (в том числе и RAPD), приобретает особый интерес, что связано со сходством структурной организации или их принадлежностью к мигрирующим генетическим элементам (транспозонам, ретротранспозонам и др.), широко представленных в геноме большинства растений и определяющих формирование и проявление многих морфофизиологических признаков [26].

По частотам встречаемости аллелей микросателлитных локусов также были рассчитаны коэффициенты генетической дистанции между группами, на основании которых построена дендрограмма (рис. 4), отражающая степень генетико-таксономических взаимоотношений *Q. robur, Q. petraea* и гибридных генотипов различного происхождения. Наибольшими генетическими различиями характеризуются семьи, представленные генотипами, относящимися по морфологическим признакам к *Q. robur* и *Q. petraea*. Как видно из структуры дендрограммы, основанной на использовании SSR-локусов, кластеризация групп по уровню генетического сходства совпадает с результатами RAPD-анализа, за исключением расположения группы гибридных семей, происходящих от материнских деревьев *Q. robur*.

Наиболее близкими генетическими структурами характеризуется потомство, отнесенное по морфологическим признакам к *Q. petraea*, несмотря на различное происхождение. Данное явление может объясняться особенностями возвратного скрещивания межвидовых гибридов дуба [9]. Исходя из результатов изучения генетической структуры смешанных популяций предложена модель восстановления («resurrection») *Q. petraea* путем насыщающего скрещивания межвидовых гибридов с деревьями дуба скального. В поддержку данной модели выступают следующие биологические особенности *Q. petraea* и *Q. robur*: наличие ассиметричного потока генов вследствие ассортативного скрещивания гибридов из-за сроков цветения и предпочтительности оплодотворения межвидовых гибридов дуба пыльцой *Q. petraea* (на стадии прорастания пыльцевых трубок и образования зиготы). Также в пользу избирательного характера оплодотворения в нашем исследовании выступает и отсутствие в потомстве, полученном от гибридных материнских растений, индивидуумов с морфологическими признаками *Q. robur*. Кроме того, следует отметить существование ограниченного количества морфофизиологических признаков, видоспецифичных для дуба скального и дуба черешчатого, которые локализованы в нескольких группах сцепления, что позволяет восстанавливать исходные морфотипы в ходе незначительного числа поколений. Данная модель также подтверждается отсутствием большого числа промежуточных морфологических форм *Q. robur* и *Q. petraea* при совместном произрастании в смешанных популяциях [8].

Второй кластер (рис. 4) представлен гибридами, происходящими от гибридных материнских деревьев и *Q. robur*, в то же время гибриды, полученные от *Q. petraea*, на дендрограмме обособились отдельно. Общая близость гибридов различного происхождения к дубу скальному совпадает с данными, полученными по RAPD-локусам (рис. 3), и с результатами исследований, проведенных ранее разными авторами. В то же время отдельного рассмотрения требует расположение группы 4 (гибридные растения, происходящие от материнского растения *Q. robur*).

Ранее отмечалось [25], что для оплодотворения необходима генетическая совместимость, т. е. к скрещиванию предрасположены определенные варианты генотипов *Q. robur*×*Q. petraea*. Дополнительным подтверждением этому является высокое положительное значение индекса фиксации F_{is}, полученное в настоящем исследовании на основании использования микросателлитных маркеров – 19,4% (варьируя среди локусов от 14 до 25%, среди семей внутри групп от 0,1 до 43%).

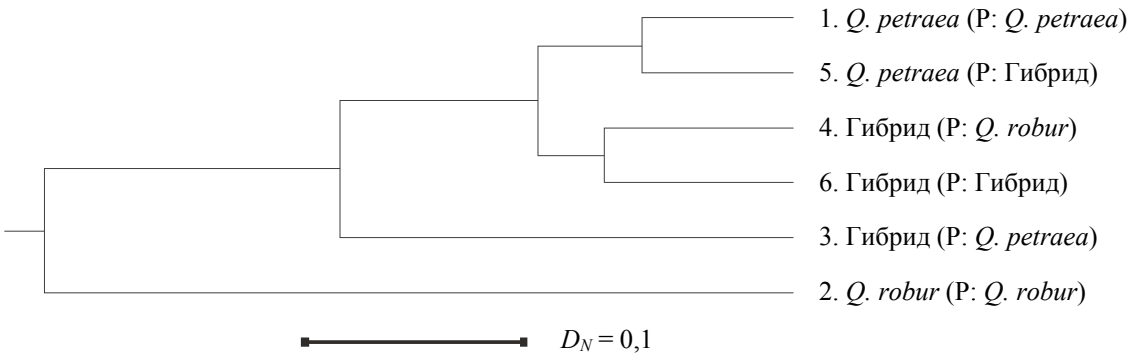


Рис. 4. Уровень генетической дифференциации изученных групп на основании анализа SSR-локусов

При этом максимальная величина F_{is} (в данном случае она указывает на недостаток гетерозиготных деревьев, поскольку имела положительное значение, а не отрицательное) была получена именно для семей группы 4, что, по-видимому, объясняет ее расположение на дендрограмме. В случае RAPD-маркеров вследствие методологических особенностей этого метода выявить такой дисбаланс затруднительно и дендрограмма строится на основании наличия видоспецифических вариантов, а не частоты их встречаемости.

Один из результатов нарушения панмиктического скрещивания в естественных древостоях выражается в формировании у потомства генотипической структуры, отличающейся от исходной материнской популяции. Дополнительным фактором гибридизации, обусловливающим трансформацию генотипической структуры популяций, является появление новых аллельных и локусных комбинаций [9]. С этим утверждением согласуется то, что в настоящем исследовании доля редких и уникальных вариантов генотипов достигает 40%, хотя это не компенсирует недостаток гетерозиготных генотипов по доминирующим аллельным вариантам. Анализ генотипической структуры по микросателлитным локусам показывает, что наименьшим дисбалансом характеризуются семьи *Q. petraea* (P: *Q. petraea*) и *Q. robur* (*P: Q. robur*), поскольку отклонения в частоте встречаемости от расчетных для большинства генотипов не превышает 0,5% и 1,5% соответственно. Для остальных исследованных групп отклонения в частотах встречаемости генотипических вариантов являются более значимыми, что указывает на ассортативный характер скрещиваний и доминирования группы определенных комбинаций аллелей в потомстве.

Заключение. Результаты анализа генетической структуры гибридного потомства показывают наличие ассортативного скрещивания между *Q. robur* и *Q. petraea* вследствие частичного репродуктивного барьера, обусловленного фенологическими, физиологическими и другими различиями. Исходя из ассиметричного характера скрещивания, недостатка гетерозиготных генотипов по сравнению с расчетными значениями, низкими величинами показателей изменчивости и внутрипопуляционной подразделенности (по сравнению с популяциями исходных видов) в гибридизационных процессах участвует ограниченное число особей. В переносе генов между *Q. robur* и *Q. petraea* и их дальнейшей интрогрессией в видовой генофонд особое значение имеют возвратные скрещивания гибридов с исходными видами, в первую очередь с *Q. petraea*. Процессы гибридизации обеспечивают возникновение новых внутри- и межгенных аллельных комбинаций, которые могут характеризоваться более высокой биологической устойчивостью в условиях изменяющегося климата.

Список литературы

1. Gailing O., Vornam B., Leinemann L., Finkeldey R. Genetic and genomic approaches to assess adaptive genetic variation in plants: forest trees as a model // Physiologia Plantarum. 2009. Vol. 137. P. 509–519.

2. Ковалевич О. А., Каган Д. И., Падутов В. Е. Геногеографические особенности распространения популяций дуба черешчатого в Беларуси // Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира: материалы Междунар. науч. конфе., Минск – Нарочь, 23–26 сент. 2014 г. Минск, 2014. С. 328–332.

3. Кавендер-Бэрес Д., Манос П., Хипп Э. Расцвет дубов // В мире науки. 2020. № 10. С. 6–13.

4. Kleinschmit J, Kleinschmit J. G. R. *Quercus robur – Quercus petraea*: a critical review of the species concept // Glasnik za Šumske Pokuse. 2000. Vol. 37. P. 441–452.

5. Lévy G., Becker M., Duhamel D. A comparison of the ecology of pedunculate and sessile oaks: radial growth in the central and northwest of France // For. Ecol. Manage. 1992. Vol. 55. P. 51–63.

6. Bacilieri R., Ducousso A., Petit R. J., Kremer A. Mating system and asymmetric hybridization in a mixed stand of European oaks // Evolution. 1996. Vol. 50. P. 900–908.

7. Petit R. J., Pineau E., Demesure B., Bacilieri R., Ducousso A., Kremer A. Chloroplast DNA footprints of postglacial recolonization by oaks // PNAS. 1997. Vol. 94. No. 18. P. 9996–10001.

8. Kremer A., Dupouey J. L., Deans J. D., Cottrell J., Csaikl U., Finkeldey R., Espinel S., Jensen J., Kleinschmit J., van Dam B., Ducousso A., Forrest I., de Heredia U. L., Lowe A. J., Tutkova M., Munro R. C., Steinhoff S., Badeau V. Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across Western European mixed oak stands // Ann. For. Sci. 2002. Vol. 59. No. 7. P. 777–787.

9. Petit R. J., Bodénès C., Ducousso A., Roussel G., Kremer A. Hybridization as a mechanism of invasion in oaks // New Phytologist. 2003. Vol. 161. P. 151–164.

10. Bodénès C., Joandet S., Laigret F., Kremer A. Detection of genomic regions differentiating two closely related oak species *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. // Heredity. 1997. Vol. 78. P. 433–444.

11. Mariette S., Cottrell J., Csaikl U. M., Goikoechea P., König A., Lowe A. J., van Dam B. C., Barreneche T., Bodénès C., Streiff R., Burg K., Groppe K., Munro R.C., Tabbener H., Kremer A. Comparison of levels of genetic diversity detected AFLP and microsatellite markers within and among mixed *Q. petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L. stands // Silvae Genet. 2002. Vol. 51. No. 2. P. 72–79.

12. Vidalis A., Curtu A. L., Finkeldey R. Novel SNP development and analysis at a NADP+-specific IDH enzyme gene in a four species mixed oak forest // Plant Biology. 2013. Vol. 15. P. 126–137.

13. Paran I., Michelmore R. W. Development of reliable PCR-based markers linked to downy mildew in resistance genes in lettuce // Theor. Appl. Genet. 1993. Vol. 85. P. 985–993.

14. Kremer A., Petit R. J., Zanetto A., Fougère V., Ducousso A., Wagner D. B., Chauvin C. Nuclear and organelle diversity in *Quercus robur* and *Q. petraea* // Genetic variation in European populations of forest trees (M. Muller-Starck, M. Ziehe eds.). Frankfurt, Germany: Sauerländer, 1991. P. 141–166.

15. Petit R. J. Polymorphisme de l'ADN chloroplastique dans un complexe d'espèces: les chênes blancs européens: thesis. Orsay, France: University of Paris XI-Orsay, 1992.

16. Dumolin-Lapègue S., Pemonge M.-H., Petit R. J. Association between chloroplast and mitochondrial lineages in oaks // Molecular Biology and Evolution. 1998. Vol. 15. P. 1321–1331.

17. Neophytou C., Aravanopoulos F. A., Fink S., Dounavi A. Detecting interspecific and geographic differentiation patterns in two interfertile oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L.) using small sets of microsatellite markers // For. Ecol. Manage. 2010. Vol. 259. P. 2026–2035.

18. Lepais O., Gerber S. Reproductive patterns shape introgression dynamics and species succession within the european white oak species complex // Evolution. 2011. Vol. 65. P. 156–170.

19. Падутов В. Е., Баранов О. Ю., Воропаев Е. В. Методы молекулярно-генетического анализа. Минск: Юнипол, 2007. 176 с.

20. White T. J., Bruns T. D., Lee S. B., Taylor J. W., Innis M. A., Gelfand D. H., Sninsky J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications (M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White eds.). New York: Academic Press Inc., 1990. P. 315–322.

21. Lu J.-J., Perng C. L., Lee S. Y., Wan C. C. Use of PCR with universal primers and restriction endonuclease digestions for detection and identifcation of common bacterial pathogens in cerebrospinal fuid // J. Clin. Microbiol. 2000. Vol. 38. No. 6. P. 2076–2080.

22. Steinkellner H., Lexer C., Turetschek E., Glössl J. Conservation of (GA)(n) microsatellite loci between *Quercus* species // Molecular Ecology. 1997. Vol. 6. P. 1189–1194.

23. Moreau F., Kleinschmit J., Kremer A. Molecular differentiation between *Q. petraea and Q. robur* by RAPD // Forest Genetics. 1994. Vol. 1. No. 1. P. 51–64.

24. Which DNA Marker for Which Purpose. Final Compendium of the Research Project "Development, optimization and validation of molecular tools for assessment of biodiversity in forest trees" in the European Union DGXII Biotechnology FW IV Research Programme "Molecular Tools for Biodiversity" / E. M. Gillet (lead.). Frankfurt, 1999. 253 p.

25. Abadie P., Roussel G., Dencausse B., Bonnet C., Bertocchi E., Louvet J.-M., Kremer A., Garnier-Géré P. Strength, diversity and plasticity of postmating reproductive barriers between two hybridizing oak

species (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt) Liebl.) // Journal of Evolutionary Biology. 2012. Vol. 25. No. 1. P. 157–173.

26. Kumar A., Bennetzen J. L. Plant retrotransposons // Ann. Rev Genet. 1999. Vol. 33. P. 479–532.

References

1. Gailing O., Vornam B., Leinemann L., Finkeldey R. Genetic and genomic approaches to assess adaptive genetic variation in plants: forest trees as a model. *Physiologia Plantarum*, 2009, vol. 137, pp. 509–519 (In English).

2. Kovalevich O. A., Kagan D. I., Padutov V. E. Genogeographic features of pedunculate oak population distribution in Belarus. *Materialy Mezhdunar. nauch. konf. "Sovremennoye sostoyaniye, tendentsii razvitiya, ratsional'noye ispol'zovaniye i sokhraneniye biologicheskogo raznoobraziya rastitel'nogo mira"* [Materials of the International scientific Conferance "The current state, development trends, rational use and conservation of biological diversity of the plant world"]. Minsk, 2014, pp. 328–332 (In Russian).

3. Cavender-Bares J., Manos P. S., Hipp A. L. The Blossom of Oaks. *V mire nauki* [In the world of science], 2020, no. 10, pp. 6–13 (In Russian).

4. Kleinschmit J, Kleinschmit J. G. R. *Quercus robur – Quercus petraea*: a critical review of the species concept. *Glasnik za Šumske Pokuse*, 2000, vol. 37, pp. 441–452 (In English).

5. Lévy G., Becker M., Duhamel D. A comparison of the ecology of pedunculate and sessile oaks: radial growth in the central and northwest of France. *For. Ecol. Manage*, 1992, vol. 55, pp. 51–63 (In English).

6. Bacilieri R., Ducousso A., Petit R. J., Kremer A. Mating system and asymmetric hybridization in a mixed stand of European oaks. *Evolution*, 1996, vol. 50, pp. 900–908 (In English).

7. Petit R. J., Pineau E., Demesure B., Bacilieri R., Ducousso A., Kremer A. Chloroplast DNA footprints of postglacial recolonization by oaks. *PNAS*, 1997, vol. 94, no. 18, pp. 9996–10001 (In English).

8. Kremer A., Dupouey J. L., Deans J. D., Cottrell J., Csaikl U., Finkeldey R., Espinel S., Jensen J., Kleinschmit J., van Dam B. C., Ducousso A., Forrest I., de Heredia U. L., Lowe A. J., Tutkova M., Munro R. C., Steinhoff S., Badeau V. Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across Western European mixed oak stands. *Ann. For. Sci.*, 2002, vol. 59, no. 7, pp. 777–787 (In English).

9. Petit R. J., Bodénès C., Ducousso A., Roussel G., Kremer A. Hybridization as a mechanism of invasion in oaks. *New Phytologist*, 2003, vol. 161, pp. 151–164 (In English).

10. Bodénès C., Joandet S., Laigret F., Kremer A. Detection of genomic regions differentiating two closely related oak species *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. *Heredity*, 1997, vol. 78, pp. 433–444 (In English).

11. Mariette S., Cottrell J., Csaikl U. M., Goikoechea P. G., Konig A. O., Lowe A. J., van Dam B. C., Barreneche T., Bodénès C., Streiff R., Burg K., Groppe K., Munro R. C., Tabbener H., Kremer A. Comparison of levels of genetic diversity detected AFLP and microsatellite markers within and among mixed *Q. petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L. stands. *Silvae Genet.*, 2002, vol. 51, no. 2, pp. 72–79 (In English).

12. Vidalis A., Curtu A. L., Finkeldey R. Novel SNP development and analysis at a NADP+-specific IDH enzyme gene in a four species mixed oak forest. *Plant Biology*, 2013, vol. 15, pp. 126–137 (In English).

13. Paran I., Michelmore R. W. Development of reliable PCR-based markers linked to downy mildew in resistance genes in lettuce. *Theor. Appl. Genet.*, 1993, vol. 85, pp. 985–993 (In English).

14. Kremer A., Petit R. J., Zanetto A., Fougère V., Ducousso A., Wagner D. B., Chauvin C. Nuclear and organelle diversity in *Quercus robur* and *Q. petraea*. In: *Genetic variation in European populations of forest trees* (M. Muller-Starck, M. Ziehe eds.). Frankfurt, Germany, Sauerländer, 1991, pp. 141–166 (In English).

15. Petit R. J. *Polymorphisme de l'ADN chloroplastique dans un complexe d'espèces: les chênes blancs européens.* Thesis, Orsay, France, University of Paris XI-Orsay, 1992 .

16. Dumolin-Lapègue S., Pemonge M.-H., Petit R. J. Association between chloroplast and mitochondrial lineages in oaks. *Molecular Biology and Evolution*, 1998, vol. 15, pp. 1321–1331 (In English).

17. Neophytou C., Aravanopoulos F. A., Fink S., Dounavi A. Detecting interspecific and geographic differentiation patterns in two interfertile oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L.) using small sets of microsatellite markers. *For. Ecol. Management*, 2010, vol. 259, pp. 2026–2035 (In English).

18. Lepais O., Gerber S. Reproductive patterns shape introgression dynamics and species succession within the european white oak species complex. *Evolution*, 2011, vol. 65, pp. 156–170 (In English).

19. Padutov V. E., Baranov O. Yu., Voropaev E. V. *Metody molekulyarno-geneticheskogo analiza* [Methods of molecular and genetic analysis]. Minsk, Yunipol Publ., 2007. 176 p.

20. White T. J., Bruns T. D., Lee S. B., Taylor J. W., Innis M. A., Gelfand D. H., Sninsky J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: *PCR Protocols:* A Guide to Methods and Applications (M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White eds.). New York, Academic Press Inc., 1990, pp. 315–322 (In English).

21. Lu J.-J., Perng C. L., Lee S. Y., Wan C. C. Use of PCR with universal primers and restriction endonuclease digestions for detection and identifcation of common bacterial pathogens in cerebrospinal fuid. *J. Clin. Microbiol.*, 2000, vol. 38, no. 6, pp. 2076–2080 (In English).

22. Steinkellner H., Lexer C., Turetschek E., Glössl J. Conservation of (GA)(n) microsatellite loci between *Quercus* species. *Molecular Ecology*, 1997, vol. 6, pp. 1189–1194 (In English).

23. Moreau F., Kleinschmit J., Kremer A. Molecular differentiation between *Q. petraea and Q. robur* by RAPD. *Forest Genetics*, 1994, vol. 1, no. 1, pp. 51–64 (In English).

24. Which DNA Marker for Which Purpose. Final Compendium of the Research Project *"Development, optimization and validation of molecular tools for assessment of biodiversity in forest trees"* in the European Union DGXII Biotechnology FW IV Research Programme *"Molecular Tools for Biodiversity"* (E. M. Gillet lead.). Frankfurt, 1999. 253 p.

25. Abadie P., Roussel G., Dencausse B., Bonnet C., Bertocchi E., Louvet J.-M., Kremer A., Garnier-Géré P. Strength, diversity and plasticity of postmating reproductive barriers between two hybridizing oak species (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt) Liebl.). *Journal of Evolutionary Biology*, 2012, vol. 25, no. 1, pp. 157–173 (In English).

26. Kumar A., Bennetzen J. L. Plant retrotransposons. *Ann. Rev Genet.*, 1999, vol. 33, pp. 479–532 (In English).

Информация об авторе

Падутов Владимир Евгеньевич – доктор биологических наук, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий научно-исследовательским отделом генетики, селекции и биотехнологии. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: forestgen@mail.ru

Information about the author

Padutov Vladimir Evgen'yevich – DSc (Biology), Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Head of the Research Department of Genetics, Breeding and Biotechnology. Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., Gomel', 246001, Belarus). E-mail: forestgen@mail.ru

Поступила 15.03.2021

УДК 630*234

V. M. Khryk[1], I. V. Kimeichuk[2], V. V. Nosnikau[3],
S. U. Rabko[3], A. U. Kozel[3], V. M. Maliuha[2], V. Y. Yukhnovskyi[2]
[1]Bila Tserkva National Agrarian University (Ukraine)
[2]National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
[3]Belarusian State Technological University

STABILITY OF NATURAL REGENERATION AT RAVINE-GYLLY SYSTEMS

Peculiarities of growth and current sanitary condition of natural regeneration of Scots pine on ravine-beam systems of Rzhyshchiv-Kaniv dislocations are analyzed. Coefficients of tree growth tension were determined that indicate their greatest values occur in dense places where plants with the minimum diameter try to reach the maximum possible height. It is correlated with sites. At the same time, they are strongly associated with the age of the plants. At a young age, the stress of tree growth becomes greatest and over time decreases. As a result, young plants have a maximum loss. The index of sanitary condition which is in an interval I.6–II.3 is established. This allows us to state the condition of the plantations as weakened, which is confirmed by the coefficients of tension of their growth. Plants of natural regeneration due to dense placement experience increased competitive influence from other trees, which affects the intensity of their growth. This accelerates differentiation, natural selection and increases the resilience of forest ecosystems to global climate change, to avoid mass drying of Scots pine. For the first time, an attempt was made to experimentally apply the coefficient of growth tension of natural regeneration on ravine-gully systems in order to clarify the feasibility of forestry measures in plantations on fallow lands. The results of research indicate the importance of regulating the density of natural regeneration, determining the duration of intervention in ecosystem change and the feasibility of their implementation on the basis of experimental justification of the number of trees by the growth rate.

Key words: sanitary state, growth, coefficient of tension, natural regeneration, thinning, fallow lands, self-seedling.

For citation: Khryk V. M., Kimeichuk I. V., Nosnikau V. V., Rabko S. U., Kozel A. U., Maliuha V. M., Yukhnovskyi V. Y. Stability of natural regeneration at ravine-gylly systems. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 103–111 (In English).

В. М. Хрык[1], И. В. Кимейчук[2], В. В. Носников[3], С. В. Ребко[3],
А. В. Козел[3], В. М. Малюга[2], В. Ю. Юхновский[2]

[1]Белоцерковский национальный аграрный университет (Украина)
[2]Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
[3]Белорусский государственный технологический университет

УСТОЙЧИВОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ НА ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Проанализированы особенности произрастания и современное санитарное состояние естественного возобновления сосны обыкновенной на овражно-балочных системах Ржищевско-Каневских дислокаций. Определены коэффициенты напряженности роста деревьев, которые указывают на то, что их наибольшие значения встречаются в местах с высокой густотой, где растения с минимальным диаметром пытаются достичь максимально возможной высоты, что также хорошо коррелирует с условиями местопроизрастания. В то же время они тесно связаны с возрастом растений. В молодом возрасте напряжение роста деревьев становится наибольшим и со временем уменьшается. В результате в молодых насаждениях происходит максимальный отпад. Рассчитан индекс санитарного состояния насаждения, который варьирует в интервале I.6–II.3. Это позволяет констатировать состояние насаждений как ослабленное, что подтверждается коэффициентами напряженности их роста. Растения естественного возобновления за счет густой посадки испытывают повышенное конкурентное влияние со стороны других деревьев, что сказывается на интенсивности их роста. Это ускоряет дифференциацию, естественный отбор и повышает устойчивость лесных экосистем к глобальному изменению климата, что позволяет снизить степень массового усыхания сосны обыкновенной. Впервые предпринята попытка экспериментального применения коэффициента напряженности роста сосны естественного возобновления для определения возможности проведения лесохозяйственных мероприятий в насаждениях на залежных землях. Результаты исследований указывают на важность регулирования густоты естественного возобновления,

определения продолжительности вмешательства в изменение экосистемы и целесообразности их осуществления на основе экспериментального обоснования количества деревьев по скорости роста.

Ключевые слова: санитарное состояние, рост, коэффициент напряженности, естественное возобновление, изреживание, залежь, самосев.

Для цитирования: Хрык В. М., Кимейчук И. В., Носников В. В., Ребко С. В., Козел А. В., Малюга В. М., Юхновский В. Ю. Устойчивость естественного возобновления на овражно-балочных системах // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 103–111.

Introduction. Due to global climate change, natural regeneration is especially important, as it is the natural environment that forces woody plants to adapt to new conditions.

It is necessary to study the course and success of natural regeneration of Scots pine in different age plantations [1, 2]. The peculiarity of this process on eroded ravine-beam lands is different in compareson with the natural regeneration on cuttings. In ravine-gully lands, where the forest environment begins to form in uncharacteristic specific harsh conditions, when it is difficult for seeds to get into the soil and germinate there, it is important to determine the course of natural regeneration of Scots pine, especially recently when the use of natural forest biogeocenosis is widely promoted. Due to the need to preserve species and genetic biodiversity, increase the biological stability, quality and productivity of tree species, the question of studying this in different age stands is of paramount importance [3, 4].

The last decade has been marked by a sharp deterioration in the sanitary state of forests due to the negative effects of a complex of factors related to global climate change. This causes an increase in the area of drying plantations. As of January 1, 2019, their total area was over 413 thousand hectares, of which 222 thousand hectares of Scots pine plantations [5, 6].

The success of natural regeneration of tree species depends on the seed years, the adequacy of seed yield, regenerative maturity of the soil, the criterion of which is the state of forest litter, as well as the conditions for further growth and development of selfseeds [3].

Maliuha [7] studed the natural regeneration of pine on the ravine slopes of Rzhyshchiv-Kaniv dislocations and he came to conclusion that the regeneration is possible, although often pine self-seedling completely die in the third and subsequent years, especially on the slopes of the southern insulated exposures. The author does not completely rule out the possibility of natural regeneration on the slopes of ravines, but considers it problematic [8–10]. This scientist studies artificial plantings and determines the intensity of living space [11].

To date, similar research on natural regeneration in Ukraine outside the forest fund is not enough. This has become the subject of our research.

The purpose of the study is to assess the possibilities of natural regeneration of Scots pine on ravine-gully lands and to provide scientifically sound proposals for improving their biological stability in the context of global climate change.

Material and methods. The first experimental site with trial plots (TP) 20–01; 20–02; 20–03 is located on the lands of Tarashcha Agricultural College, which came out of permanent agricultural use in 1995. They were planted with pine forests with an area of 2.5 hectares, which died due to lack of timely agronomic care. However, due to coincidence, a natural regeneration was formed in this area.

A mature mother stand with a composition of 10Ps (*Pinus sylvestris* L.) grew next to the experimental plot, the seed years coincided, due to which this area was sown by wind by spreading forest seeds. A good role was played by good soil moisture, as well as pre-planting preparation of the forest area. The latter has reduced soil turfing and competition for pine self-seeding from grass vegetation.

The plantation formed due to natural renewal has a high degree of closure in the absence of undergrowth and understory. The thickness of the forest litter is 2.5 cm.

The natural renewal of Scots pine in the Pidkova tract at TP 20–04, 20–05; 20–06 turned out to be exceptionally peculiar to the conditions of the former eroded agricultural lands (block 44, unit 25 in Myronivka agricultural college) on the area of 3.3 hectares. The unit is located in a hollow with an angle of inclination of the north-western and south-eastern slopes up to 10°. Adjacent to the basin on two sides are the slopes of the ravine with a steepness of 17–19°, on which there are 48–49-year-old artificial plantings with a composition of 10Ps, which served as a source of seeding of the experimental site. Due to a favorable coincidence – early fruiting of pine in these plantations and the primary tillage carried out in the basin with strips for planting black mulberry pine self-seedlings survived, overcoming the competition of grass cover. The size of the trial sites was 0.1 ha.

Assessing the state of natural regeneration of pine stands on fallows, we applied the coefficient of growth tension of the middle tree in order to clarify the feasibility of forestry activities in the study area. To do this, use the formula (1):

$$K_n = h\ 100 / g, \quad (1)$$

where K_n – coefficient of growth tension of middle tree; h – middle height of thickness level, m; g – basal area at breath height, cm^2.

During the list of trees in the trail sites for each of them determined the category of the state by the sum of biomorphological features, which included the density and color of the crown, the presence and nature of the distribution of needles, relative growth of shoots, the age of the needles stored on the shoots, the presence of dry branches, the condition of the bark and etc. The needles are affected by infectious and non-infectious necrosis, pests and pathogens [12, 13].

The index of sanitary state of plantations was calculated by the ratio (formula 2) [14]:

$$I = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5 + 6n_6}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6}, \quad (2)$$

where: n_1, n_2, ..., n_6 – number of trees of relative category of sanitary state.

The state of plantings was established according to the following values of the sanitary condition index: up to 1.5 – healthy plantations; 1.6–2.5 – weakened; 2.6–3.5 – strongly weakened; 3.6–4.5 – dry; more than 4.5 – dead [14].

During the field work on the trail sites all manifestations of negative impact on the state of forest phytocenoses of other biotic and abiotic factors (pests and forest diseases, forest fires, damage by late frosts, as well as wild and domestic animals, etc.) were recorded.

To determine the sanitary state of plantations of natural origin, a reconnaissance survey of stands was performed on six trail sites with a continuous list of trees.

Mathematical and statistical processing of the results was performed using Microsoft Excel software packages [15].

Results and discussion. It is important to have objective data on the state of plantations when planning and conducting forest management activities (Tables 1, 2).

Characterizing the obtained data on the distribution of trees of natural regeneration by degrees of thickness, which were formed at different age intervals, we see that higher coefficients of growth tension occur in younger plantations (Tables 1 and 2).

The coefficient of growth tension of the middle tree shows how many centimeters of height is per 1 cm^2 of its basal area. The smaller the value of height per cm^2 of basal area of the middle tree, the lower the coefficient of tension of its growth, the more stable and confident it feels. There are trees of different ages in the research plantations. Consider what happens at the same age, which is represented by two options:

The first option (Table 1) is presented trail plots 20–01, 20–02, 20–03 where the age of the youngest trees in the plantation is 22 years.

The situation was as follows: for a degree of thickness of 6 centimeters of height were distributed respectively: 7.9; 7.6; 7.7 m, which in turn correspond to the highest growth rates – 28.2; 27.1; 27.5.

Table 1

Coefficient of growth tension of the middle tree of natural regeneration of Scots pine on fallow lands of Myronivka Agroforestry

Age, years	Degree of thickness, cm	Number of trees in the TP, pcs.	Average height, m	Basal area g, cm^2	Coefficient of tension of middle tree $h\ 100 / g$
TP 20–01					
22	6	55	7.9	28	28.2
22	8	38	8.2	50	16.4
23	10	69	10.5	79	13.3
25	12	68	12.5	113	11.1
26	14	22	12.8	154	8.3
27	16	10	13.8	201	6.9
29	18	4	14.1	255	5.6
TP 20–02					
22	6	50	7.6	28	27.1
22	8	40	7.9	50	15.8
23	10	81	10.1	79	12.8
25	12	44	12.3	113	10.9
26	14	11	13.0	154	8.4
27	16	10	13.5	201	6.7
29	18	9	14.0	255	5.5
30	20	5	14.3	314	4.6
TP 20–03					
22	6	60	7.7	28	27.5
22	8	62	8.0	50	16.0
23	10	84	10.3	79	13.0
25	12	34	12.1	113	10.7
26	14	8	12.9	154	8.4
27	16	10	13.7	201	6.8
29	18	11	13.9	255	5.5
30	20	8	14.2	314	4.5

With the increase in the degree of thickness at the same age to 8 cm in height were distributed, respectively, 8.2; 7.9; 8.0 m, which affected

the growth rates of 16.4; 15.8; 16.0. Increasing the age of trees in the plantation to 29–30 years with an increase in the degree of thickness of 18–20 cm contributed to a decrease in the coefficients of growth tensions to 5.6–4.5.

The second option (Table 2) is presented trail plots 20–04, 20–05, 20–06 age also 22 years, but in the oldest trees where the degrees of thickness were greater. For a degree of thickness of 16 cm of height were distributed, respectively, 12.9; 13.0; 14.0 m, which in turn correspond to the coefficients of growth intensity – 6.4; 6.5; 7.0. With the increase in the degree of thickness at the same age to 18 cm in height were distributed, respectively, 13.3; 13.7; 14.3 m, which affected the coefficients of growth intensity – 5.2; 5.4; 5.6, which have decreased significantly, but there is a trend – a higher height corresponds to a larger value of the growth rate.

Table 2

Coefficient of growth tension of the middle tree of natural regeneration of Scots pine on fallow lands of Tarashcha lands

Age, years	Degree of thickness, cm	Number of trees in the TP, pcs.	Average height, m	Basal area g, cm^2	Coefficient of tension of middle tree $h\,100\,/\,g$
TP 20–04					
15	6	58	7.5	28	26.8
17	8	53	7.8	50	15.6
19	10	51	9.8	79	12.4
20	12	42	11.8	113	10.4
21	14	31	12.4	154	8.0
22	16	11	12.9	201	6.4
22	18	9	13.3	255	5.2
TP 20–05					
15	6	58	7.3	28	26.1
17	8	61	7.7	50	15.4
19	10	43	10.1	79	12.8
20	12	38	12.1	113	10.7
21	14	16	12.6	154	8.2
22	16	25	13.0	201	6.5
22	18	9	13.7	255	5.4
TP 20–06					
15	6	50	7.1	28	25.4
17	8	69	8.1	50	16.2
19	10	53	10.4	79	13.2
20	12	34	12.3	113	10.9
21	14	22	13.3	154	8.6
22	16	14	14.0	201	7.0
22	18	10	14.3	255	5.6

In both cases, at the same age (22 years), different coefficients of tensions were found: in the first – the highest, in the second – the lowest because the age of the youngest trees is 22 years (depressed and therefore less stable), and in the second – the oldest under appropriate conditions.

That is, with increasing values of basal areas, the coefficients of growth tension of medium-sized trees in the plantation decrease, but their difference is explained by the change in height. With the same basal area, the growth rate is greater where the greater the height.

Taking into account the peculiarities of natural regeneration, when different-age plantations are formed, an attempt is made to generalize the coefficients of growth tensions of medium-sized plantations in general (Table 3). To obtain summary data on the coefficients of tree growth tension in the stands of Scots pine natural regeneration average weighted indicators of heights and diameters using the quantitative representation of trees in terms of thickness were analysed. As a result of calculations, the following consolidated coefficients of growth tension of medium-sized trees were obtained: in plantations of natural regeneration of Scots pine on the fallow lands of Tarashcha lands from 8.2 (TP 20–02) to 12.8 (TP 20–01); in plantations of natural regeneration of Scots pine on the fallow lands of Myronivka Agroforestry from 11.1 (TP 20–06) to 12.4 (TP 20–05).

Table 3

Summary data of growth tension coefficients of medium trees of natural regeneration of Scots pine in the trail plots

Code of TP	$A_{avr.}$, years	N, pc./ha	Average		P, unit	G, cm^2	K_n, $h\,100\,/\,g$
			h, m	d, cm			
20–01	24	2660	10.6	10.3	0.91	83	12.8
20–02	24	2500	8.8	11.7	0.88	107	8.2
20–03	27	2770	10.6	10.9	0.94	93	11.4
20–04	19	2550	10.0	10.6	0.88	88	12.0
20–05	19	2500	9.7	10.0	0.88	78	12.4
20–06	19	2520	10.7	11.1	0.85	97	11.1

According with the obtained data comparing the two options, it can be noted that the natural regeneration of Scots pine forms comparable results (close coefficients of growth tension).

For a better representations and practical comparison of the results of the study of the calculation of this coefficient, which characterizes natural plantations at a density of 1.0 and 0.7 (data obtained from tables of growth of closed pine stands of natural origin [16] and experimental data of test plots) (Fig. 1).

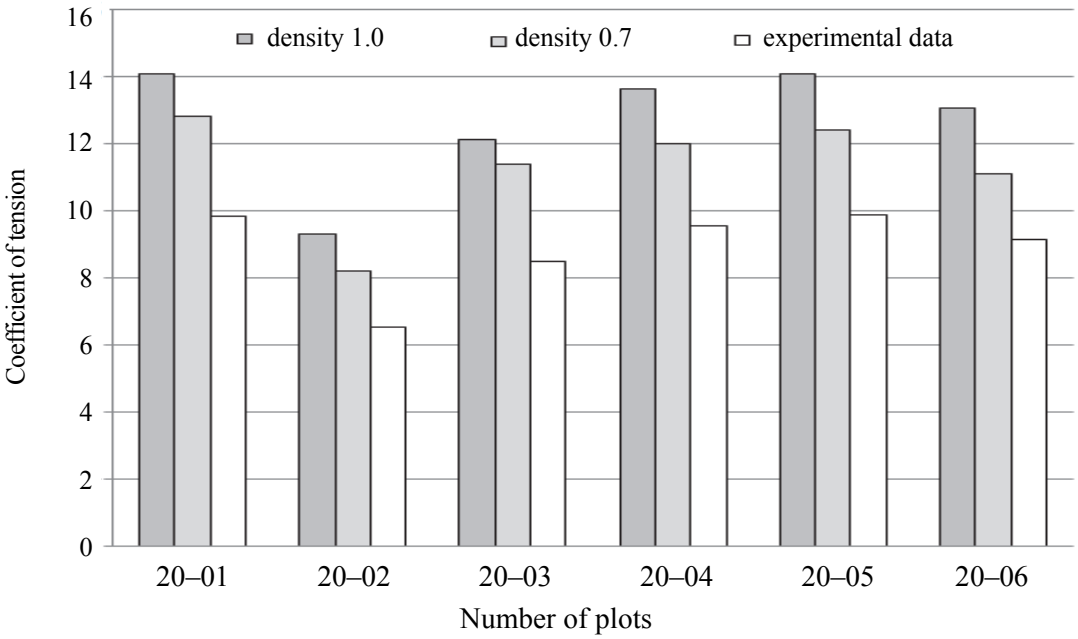


Fig. 1. Coefficient of growth tension of trees
of natural origin according to standards [16] and experimental data

In plantations of natural origin trees are differentiated in a timely manner according to growth and development, which indicates optimal natural liquefaction, especially of stunted and damaged trees. According to our experimental data, the relative density varies from 0.85 to 0.94, the average age is 19 (TP 20–04, TP 20–05, TP 20–06), 24 years (TP 20–01, TP 20–02), 27 years old (TP 20–03). Therefore, according to experimental data in the trail plots, natural selection takes place without the subjective intervention of the human factor, according to the rules of deforestation and reforestation, it is necessary to carry out the thinning.

To determine the sanitary state of natural regeneration, we set up 6 test plots in two experimental sites of different ages and density. The distribution of Scots pine trees in natural plantations by categories of sanitary state (I_{SS}) in fresh sites is given in Table. 4.

Graphically obtained data on the sanitary condition of temporary test areas are presented in Fig. 2.

Thus, the most represented is the first class of sanitary condition, and the least is the sixth class, which indicates a satisfactory state of natural regeneration. According to the index of sanitary condition, plantations of natural origin of Scots pine in all test areas are classified according to the "Sanitary rules in the forests of Ukraine" as weakened (I.9), due to high competition from older trees and the competition for light.

Table 4

Distribution of the number of trees by categories of sanitary state

Code of TP	Number of trees in the trial area, pcs.	Number of trees by sanitary state categories: numerator, pcs.; denominator, %						I_{SS}
		I	II	III	IV	V	VI	
20–01	266	148	66	23	25	3	1	I.8
		55.6	24.8	8.6	9.4	1.1	0.4	
20–02	250	150	65	19	11	2	3	I.6
		60.0	26.0	7.6	4.4	0.8	1.2	
20–03	277	137	80	43	12	2	3	I.8
		49.5	28.9	15.5	4.3	0.7	1.1	
20–04	255	130	60	28	26	7	4	I.9
		51.0	23.5	11.0	10.2	2.7	1.6	
20–05	250	110	61	46	32	1	0	II.0
		44.0	24.4	18.4	12.8	0.4	0.0	
20–06	252	63	86	60	40	2	1	II.3
		25.0	34.1	23.8	15.9	0.8	0.4	
Weighted average sanitary state index								I.9

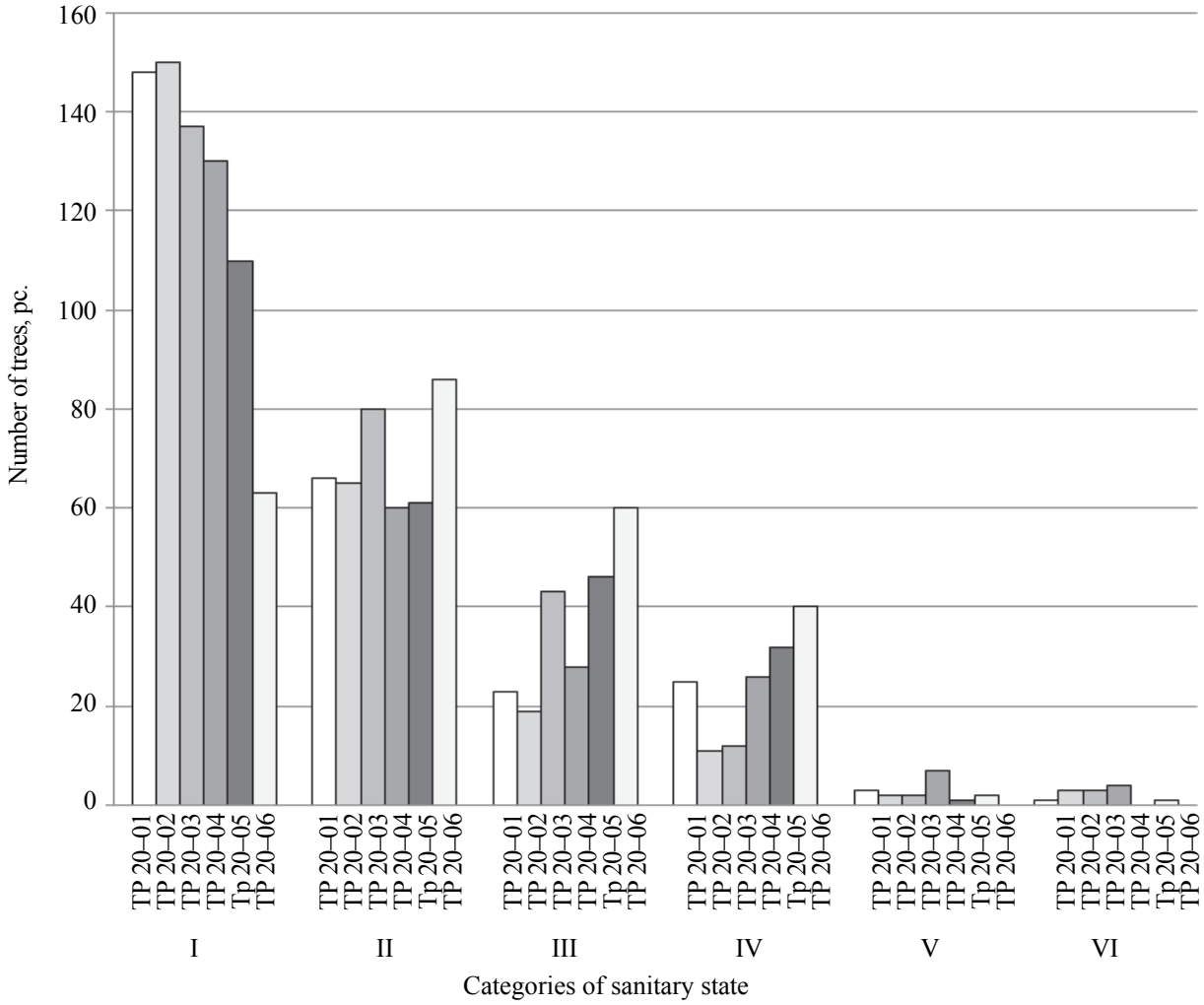


Fig. 2. Distribution of natural regeneration trees by categories of sanitary state

Conclusion. The determined coefficients of tree growth tension indicate that their greatest values occur in dense places where plants with the minimum diameter try to reach the maximum possible height, which correlates well with the types of forest sites. At the same time, they are strongly associated with the age of the stands. At a young age, the stress of tree growth becomes greatest and over time decreases. As a result, young plants have a maximum loss. Therefore, the coefficients of growth tension of trees are due to differences in environmental conditions and age.

For the practical application of the calculated coefficient of growth tension of the middle tree in order to provide recommendations to forestry on the proper quality of thinning of forest formation and rehabilitation, the generalization of experimental data on growth and placement of trees in plantations of natural origin on fallows.

Although no forest management measures were carried out in the natural regeneration plantations, but tree differentiation and real natural selection were successful. They were not affected by anthropogenic factors, which were reflected in their condition, before the onset of cleanings and thinning.

The calculated index of the sanitary state of natural pine plantations, which is in the range of 1.6–2.3, indicates that the plantations belong to the weakened ones in all test plots.

It is found out that the most influential factors of significant deterioration of the sanitary condition of trees of natural regeneration of pine are the drying of trees due to the natural selection of suppressed trees.

In order to reduce the negative impact of extreme and local manifestations on the growth and state of pines of natural origin should be mainly preventive measures in cluttered areas. Timely and systematic thinning in plantations will reduce natural decline, improve sanitation, clutter and conditions for the development of pests and pathogens. In the plantation, respectively, will reduce the density, the number of trees per unit area, and this will increase the light of the territory, the growth of trees in height and diameter.

The question of the possibility of creating a natural way of regeneration pine plantations on ravine-beam lands should be answered in the affirmative. This process is significantly different from the natural restoration of tree species under the canopy and on the cuttings. It is much more complex and problematic, requires more attention and creativity during a set of forestry activities. However, the factor of greater stability of natural plantations and fuller performance of their protective functions should compensate for the complexity of the forestry process of growing such plantations in the relevant areas.

References

1. Maurer V. M. Kimeichuk I. V. Features of age dynamics of natural regeneration of Scots pine in the fresh pine sites of Kyiv Polissia. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 45–54 (In Ukrainian).

2. Shevchenko M. A. Influence of different tillage techniques on slopes to reduce melt water runoff. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology], 1963, no. 2, pp. 32–37 (In Russian).

3. Khryk V. M. *Protyeroziyni vlastyvosti sosnovykh nasadzhen' na yaruzhno-balkovykh systemakh tsentral'noyi chastyny Prydniprovs'koho Pravoberezhnoho Lisostepu. Avtoref. dys. … kand. s.-kh. nauk* [Anti-erosion properties of pine plantations on ravine-gully systems of the central part of the Dnieper Right-Bank Forest-Steppe. Abstract of thesis PhD (Agriculture Science)]. Kiiv, 2011. 22 p. (In Ukrainian).

4. Yukhnovskyi V. Yu., Dudarets S. M. Maliuha V. M., Khryk V. M. *Protyeroziyni lisovi nasadzhennya yaruzhno-balkovykh system* [Anti-erosion forest plantations of ravine-gully systems]. Condor, 2013. 512 p. (In Ukrainian).

5. Bondar A. O. *Mizhnarodna konferentsiya shchodo vsykhannya sosnovykh lisiv: zakonodavchi obmezhennya v Ukrayini blokuyut' borot'bu z "biolohichnoyu pozhezheyu"* [International Conference on Pine Forest Drying: Legislative Restrictions in Ukraine Block "Biological Fire Fight"]. Available at: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=202061&cat_id=32888 (accessed 05.11.2020).

6. Kimeichuk I. V. Sanitary condition of pine plantations on sites with different methods of preparation of fellings. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, prysvyachenoyi 100-richchyu kafedry vidtvorennya lisiv ta lisovykh melioratsiy* "*Vidtvorennya lisiv ta lisova melioratsiya v Ukrayini: vytoky, suchasnyy stan, vyklyky s'ohodennya ta perspektyvy v umovakh antropotsenu"* [Materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of Forest Reproduction and Forest Reclamation "Forest reproduction and forest reclamation in Ukraine: origins, current state, current challenges and prospects in the Anthropocene"]. Kiev, 2019, pp. 43–44 (In Ukrainian).

7. Maliuha V. M. Plantings for different categories of land reclamation fund. *Naukovyy visnyk Natsional'noho ahrarnoho universytetu* [Scientific Bulletin National Agrarian University], 1999, no. 20, pp. 177–187 (In Ukrainian).

8. Maliuha V. M., Maurer V. M., Khryk V. M. Natural regeneration of Scots pine on the ravine-gully lands of the Dnieper. *Naukovyy visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny* [Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine], 2018, no. 288, pp. 80–87 (In Ukrainian).

9. Khryk V. M., Kimeichuk I. V. Natural regeneration of European spruce on ravine-gully systems of Ovruch region. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Innovatsiyni tekhnolohiyi v ahronomiyi, zemleustroyi, lisovomu ta sadovo-parkovomu hospodarstvi"* [Materials of the International scientific-practical conference "Innovative technologies in agronomy, land management, forestry and horticulture"]. Bila Tserkva NAU, pp. 28–30 (In Ukrainian).

10. Khryk V. M., Maliuha V. M., Kimeichuk I. V., Khakhula V. S., Yukhnovskyi V. Yu. Natural regeneration of ravine-gally systems and former arable lands in Ovruch region. *Suchasni naukovi doslidzhennya* [Modern scientific researches], issue 13, part 3, 2020, pp. 28–37 (In English).

11. Maliuha V. M., Minder V. V. Indicator of the tension of the living space of protective forest plantations. *Ukrayins'kyy zhurnal lisivnytstva ta derevynoznavstva* [Ukrainian Journal of Forest and Wood Sciences], 2020, vol. 11, no. 4, pp. 47–59 (In Ukrainian).

12. Mozolevskaia E. H. Methods for assess in gand forecasting the dynamics of plantations. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1998, no. 8, pp. 43–45 (In Russian).

13. Mozolevskaya E. G., Katayev O. A., Sokolova E. S. *Metody lesopatologicheskogo issledovaniya ochagov stvolovykh vrediteley i bolezney lesa* [Methods of forest pathological examination of foci of stem pests and forest diseases]. Moscow, Lesnoye khozyaystvo Publ., 1984, 152 p.

14. Sanitary rules in Ukrainian Forests. *Sanitarni pravyla v lisakh Ukrayiny. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 27.07.1995* [Decret of Cabinet of Ministry of Ukraine of 27.07.1995. № 555]. Harvest, 1995. 16 p.

15. Hrom M. M. *Lisova taksatsiya* [Forest assessment]. L'viv, RVV NLTU Ukrainy Publ., 2007. 416 p.

16. Kashpor S. M., Strochynskyi A. A. *Lisotaksatsiynyy dovidnyk* [Forest measurement handbook]. Korsun'-Sheuchenskivs'kiy, Maydachenko Publ., 2013. 496 p.

Список литературы

1. Маурер В. М., Кімейчук І. В. Динаміка чисельності та стан природного поновлення сосни звичайної на зрубах в умовах свіжої судіброви Київського Полісся. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. Київ, 2020. Т. 11. № 1. С. 45–54.

2. Шевченко М. А. Влияние различных приемов обработки почвы на склонах для уменьшения стока талых вод // Метеорология и гидрология. 1963. № 2. С. 32–37.

3. Хрик В. М. Протиерозійні властивості соснових насаджень на яружно-балкових системах центральної частини Придніпровського Правобережного Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.01. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2011. 22 с.

4. Юхновський В. Ю., Дударець С. М., Малюга В. М., Хрик В. М. Протиерозійні лісові насадження яружно-балкових систем. Київ: Кондор, 2013. 512 с.

5. Бондар А. О. Міжнародна конференція щодо всихання соснових лісів: законодавчі обмеження в Україні блокують боротьбу з «біологічною пожежею» [Электронный ресурс] // Офіційній веб-сайт державного агенства лісових ресурсів України. URL: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=202061&cat_id=32888 (дата обращения: 05.11.2020).

6. Кімейчук І. В. Санітарний стан соснових насаджень на ділянках з різними способами підготовки зрубів. Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропоцену: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 100-річчю кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій (м. Київ, 6–8 листопада 2019 р.). Київ, 2019. С. 43–44.

7. Малюга В. М. Насадження для різних категорій земель меліоративного фонду // Науковий вісник НАУ. Київ, 1999. Вип. 20. С. 177–187.

8. Малюга В. М., Маурер В. М., Хрик В. М. Природне поновлення сосни звичайної на яружно-балкових землях Придніпров'я // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2018. Вип. 288. С. 80–87.

9. Хрик В. М., Кімейчук І. В. Природне поновлення ялини європейської на яружно-балкових системах Овруччини. «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, лісовому та садово-парковому господарстві»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 30 жовтня 2020 року. Білоцерківський НАУ. С. 28–30.

10. Khryk V. M., Maliuha V. M., Kimeichuk I. V., Khakhula V. S., Yukhnovskyi V. Yu. Natural regeneration of ravine-gally systems and former arable lands in Ovruch region // Modern scientific researches. 2020, issue 13, part 3. P. 28–37.

11. Малюга В. М., Міндер В. В. Показник напруженості життєвого простору захисних лісових насаджень. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. Київ, 2020. Т. 11. № 4. С. 47–59.

12. Мозолевская Е. Г. Методы оценки и прогнозирования динамики насаждений // Лесное хозяйство. 1998. № 8. С. 43–45.

13. Мозолевская Е. Г., Катаев О. А., Соколова Е. С. Методы лесопатологического исследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесная пром-сть, 1984. 152 с.

14. Санітарні правила в лісах України. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.07.1995. № 555. К. Урожай, 1995. 16 с.

15. Гром М. М. Лісова таксація. Львів: РВВ НЛТУ України, 2007. 416 с.

16. Кашпор С. М., Строчинський А. А. Лісотаксаційний довідник. Корсунь-Шевченківський: Майдаченко, 2013. 496 с.

Information about the authors

Khryk Vasyl Mykhailovych – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forestry. Bila Tserkva National Agrarian University (8/1, Sobornaya Ave., 09117, Bila Tserkva, Ukraine). E-mail: hvm2020@ukr.net

Kimeichuk Ivan Vasyliovych – PhD student, the Department of Forests Restorations and Meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15, Geroiv Oborony str., Kyiv, 03041, Ukraine). E-mail: i_kimeichuk@nubip.edu.ua

Nosnikau Vadzim Valeravich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nosnikov@belstu.by

Rabko Siarhei Uladzimiravich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rebko@belstu.by

Kozel Aliaksandr Uladzimiravich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kozel@belstu.by

Maliuga Volodymyr Mykolaiovych – DSc (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forests Restorations and Meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15, Geroiv Oborony str., Kyiv, 03041, Ukraine). E-mail: malugavolodimir1953@gmail.com

Yukhnovskyi Vasyl Yuriiovych – DSc (Agriculture), Professor, the Department of Forests Restorations and Meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15, Geroiv Oborony str., Kyiv, 03041, Ukraine). E-mail: yukhnov@ukr.net

Информация об авторах

Хрык Василь Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесного хозяйства. Белоцерковский национальный аграрный университет (09117, г. Белая Церковь, пл. Соборная, 8/1, Украина). E-mail: hvm2020@ukr.net

Кимейчук Иван Васильевич – аспирант кафедры лесовосстановления и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (03041, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15, Украина). E-mail: i_kimeichuk@nubip.edu.ua

Носников Вадим Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nosnikov@belstu.by

Ребко Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rebko@belstu.by

Козел Александр Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kozel@belstu.by

Малюга Володимир Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесовосстановления и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (03041, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15, Украина). E-mail: malugavolodimir1953@gmail.com

Юхновский Василь Юрьевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесовосстановления и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (03041, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15, Украина). E-mail: yukhnov@ukr.net

Поступила 01.03.2021

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING

УДК 630*453

Д. А. Бабуль[1, 2], А. А. Сазонов[1, 2], В. Н. Кухта[1], Е. А. Уколова[1]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]РУП «Белгослес»

СОСТОЯНИЕ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ И АНАЛИЗ ВСТРЕЧАЕМОСТИ КОРОЕДНОГО УСЫХАНИЯ В ОТДЕЛЬНЫХ ЛЕСХОЗАХ ГОМЕЛЬСКОГО ПОЛЕСЬЯ В 2017–2020 ГГ.

Состояние сосновых насаждений является одним из самых проблемных вопросов лесной отрасли в XXI в., особенно на фоне вспышки массового размножения стволовых вредителей сосны. В данной работе представлено состояние насаждений по результатам проведенного экспедиционного лесопатологического обследования в четырех лесхозах Гомельского Полесья в 2017–2020 гг. Начиная с 2010 г., в этом регионе наблюдается короедное усыхание сосновых насаждений. Рассмотрено распределение сосновых насаждений по классам биологической устойчивости, выявлены отдельные факторы и причины нарушения устойчивости насаждений, а также мероприятия, необходимые для управления патологическими процессами в сосновых лесах. Большое влияние на состояние сосновых насаждений оказали корневые гнили, которые являются застаревшей проблемой для данного региона. Встречаемость короедного усыхания возрастала с увеличением возраста, доли сосны в составе древостоев и продуктивности насаждений. Происхождение насаждений не оказывало влияния на возникновение очагов короедов.

Ключевые слова: сосновые насаждения, Гомельское Полесье, стволовые вредители, лесоводственно-таксационная характеристика, санитарно-оздоровительные мероприятия.

Для цитирования: Бабуль Д. А., Сазонов А. А., Кухта В. Н., Уколова Е. А. Состояние сосновых насаждений и анализ встречаемости короедного усыхания в отдельных лесхозах Гомельского Полесья в 2017–2020 гг. // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 112–120.

D. A. Babul', A. A. Sazonov, V. N. Kukhta, E. A. Ukolova
[1]Belarusian State Technological University
[2]RUE "Belgosles"

STATE OF PINE STANDS AND ANALYSIS OF THE INCIDENCE OF PINE DRYING IN SEPARATE FORESTRY ENTERPRISES OF THE GOMEL POLESIA IN 2017–2020

The condition of pine stands is one of the most problematic issues of the forest industry in the 21st century, especially against the backdrop of an outbreak of mass proliferation of pine stem pests. This paper presents the state of stands based on the results of the expeditionary forest pathological survey in 4 forestry enterprises of Gomel Polesie in 2017–2020 years. Since 2010, there has been a bark beetle drying out of pine stands in this region. Distribution of pine stands by classes of biological resistance is considered, individual factors and causes of disturbance of plant stability are identified, as well as measures necessary to control pathological processes in pine forests. Root rot, which is an old problem in the region, has had a great impact on the condition of pine forests. The incidence of bark beetle drying increased with an increase in age, the proportion of pine in the composition of forest stands, and the productivity of stands. The origin of the stands did not affect the emergence of bark beetle outbreaks.

Key words: Pine stands, Gomel Polesia, stem pests, forestry-taxation characteristic, health-improving measures.

For citation: Babul' D. A., Sazonov A. A., Kukhta V. N., Ukolova E. A. State of pine stands and analysis of the incidence of pine drying in separate forestry enterprises of the Gomel Polesia in 2017–2020. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 112–120 (In Russian).

Введение. Состояние сосновых насаждений вызывает большой интерес у лесоводов Беларуси. Данный вопрос стал еще более актуальным с начала усыхания сосновой формации, которое впервые наблюдали в 2010 г. в Гомельском лесхозе [1]. Как известно, одной из причин деградации сосняков стала вспышка массового размножения стволовых вредителей с доминированием вершинного короеда (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) Scolytinae, Coleoptera), который поселяется на ветвях и стволе в области кроны. Позднее, уже после гибели хвои, ствол заселяют другие ксилофаги. Как правило, вершинный короед заселяет уже ослабленные деревья, но при большой численности популяции способен заселять и здоровые сосны (не имеющие признаков ослабления). Немалую роль в росте численности популяции стволовых вредителей имеет корневая губка, которая является систематическим «поставщиком» кормовой базы для ксилофагов сосны [2]. Сосновая корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) вызывает заболевание корневых систем сосны в виде пестрой ямчато-волокнистой (ситовой) гнили. В 1981 г. площадь очагов корневой губки оценивалась в 95 тыс. га [2], а в 2017 г. они занимали уже 123,7 тыс. га [3]. По данным учреждения «Беллесозащита», за 2016–2020 гг. усыхание сосновых лесов зафиксировано на площади 691,1 тыс. га с объемом древесины 35,3 млн м^3. К. В. Лабоха и другие [4] констатируют, что общая площадь сосняков Беларуси за 2009–2019 гг. сократилась на 224,3 тыс. га (5,2%).

В данной работе приводятся результаты анализа состояния сосновых насаждений на примере некоторых лесхозов Гомельского Полесья в период массового усыхания сосняков с учетом влияния лесоводственно-таксационных характеристик древостоев.

Материалы и методы. В работе использованы материалы экспедиционного лесопатологического обследования, проведенного инженерами-лесопатологами РУП «Белгослес» в 2017–2020 гг. в Мозырском опытном, Калинковичском, Светлогорском и Лельчицком лесхозах. Все они относятся к подзоне широколиственно-сосновых лесов Полесско-Приднепровского геоботанического округа. Однако в Светлогорском лесхозе только юг его территории находится в данном регионе. Большая же часть лесопокрытой площади лесхоза расположена в пределах Березинско-Предполесского геоботанического округа подзоны елово-грабовых дубрав.

Обследование проводилось в соответствии с общепринятыми в защите леса методиками [5]. Полученная в результате исследований информация о состоянии лесных насаждений использовалась для составления баз данных лесопатологического состояния вышеуказанных лесхозов. В дальнейшем из них выбирали данные о лесопатологическом и санитарном состоянии сосновой формации на площади 38,2 тыс. га. Данные о состоянии сосняков группировались по классам биологической устойчивости (КБУ), причинам усыхания и лесоводственно-таксационным показателям (возраст, состав, тип леса, полнота, бонитет). При этом учитывалось происхождение насаждений (естественное или искусственное).

В статье также приведены сведения, касающиеся выявленного при обследовании запаса мертвого леса по лесхозам и объема мероприятий по оздоровлению сосняков.

Основная часть. По результатам лесопатологического обследования на рис. 1 представлено распределение сосновых насаждений в соответствии с классами биологической устойчивости: I – биологически устойчивые насаждения (находящиеся на стадии устойчивого равновесия); II – с нарушенной устойчивостью (на стадии неустойчивого равновесия); III – утратившие устойчивость (на стадии дигрессии); прочие участки – насаждения других пород и непокрытые лесом земли, возникшие на месте сосняков.

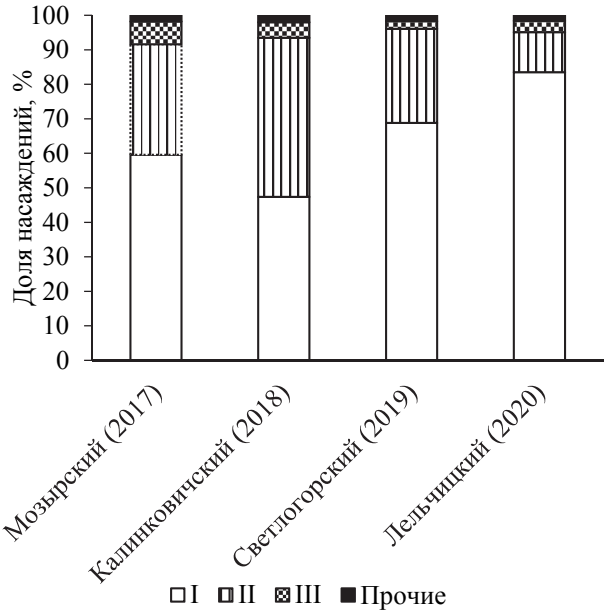


Рис. 1. Распределение сосновых насаждений в лесхозах по классам биологической устойчивости

По данным многолетних обследований для условий Беларуси состояние лесной формации можно считать удовлетворительным, если биологически устойчивые древостои составляют в ней не менее 85%, с нарушенной устойчивостью – не более 15%, утратившие устойчивость – десятые доли процента (не более 0,5%) [5].

Как видим, неблагоприятная лесопатологическая ситуация в сосняках имела место в 2017–2019 гг., когда доля насаждений I КБУ составила 47,4–68,8%. Тем не менее наметилась тенденция снижения древостоев III КБУ с 6,6% в 2017 г. до 2,3% в 2019 г. К 2020 г. доля сосняков I и II КБУ практически вписывается в цифры, позволяющие сказать, что патологические процессы на обследованной территории стабилизировались. Увеличение доли насаждений III КБУ (до 3,3%) связано с повреждением сосняков лесными пожарами, прошедшими в 2020 г. в Лельчицком лесхозе.

В табл. 1 приведены данные по причинам и факторам усыхания сосновых древостоев по лесхозам. Отмечается снижение насаждений, поврежденных стволовыми вредителями с 30,1% в 2017 г. до 5,0% в 2020 г. Второй, но не менее важной причиной, которая оказывает отрицательное влияние на сосняки, является поражение их пестрой ситовой гнилью корней, вызываемой корневой губкой. Эта проблема в лесном хозяйстве Беларуси давно не теряет свою актуальность. Ее решения отрасль не может найти уже на протяжении нескольких десятков лет [6]. В отдельные годы довольно большую долю составляют насаждения, пострадавшие от пожара (Лельчицкий лесхоз). Они встречаются на 5,1% обследованной площади.

Патологические процессы, протекающие в сосновых насаждениях, приводят к накоплению в них мертвой древесины, объем которой представлен в табл. 2.

Как видим из таблицы, максимальная доля текущего отпада наблюдается в 2017 г. – 68,9%, в этом же году прослеживается и наибольшая встречаемость короедного усыхания, отмеченная в Мозырском лесхозе на уровне 30,1% (табл. 1).

Таблица 1

Причины и факторы патологических процессов в сосновых насаждениях

Патологический фактор	Лесхоз (год обследования)							
	Мозырский (2017)		Калинковичский (2018)		Светлогорский (2019)		Лельчицкий (2020)	
	площадь, га	доля, %	площадь, га	доля, %	площадь, га	доля, %	площадь, га	доля, %
Короедное усыхание сосны	1641,7	30,1	1206,7	16,5	1179,5	12,6	550,8	5,0
Корневая губка сосны	1181,7	21,7	3498,8	47,9	2741,8	29,4	1217,4	11,1
Повреждение по границе с вырубкой	126,2	2,3	157,7	2,2	27,3	0,3	41,0	0,4
Сосновая губка	91,9	1,7	3,0	–	–	–	–	–
Смоляной рак	48,8	0,9	24,1	0,3	15,9	0,2	132,8	1,2
Синяя сосновая златка	–	–	133,7	1,8	140,8	1,5	4,1	–
Лесные пожары	–	–	–	–	9,1	0,1	559,0	5,1
Площадь сосновых выделов в базе данных, га	**5 448,7**		**7 301,7**		**9 312,2**		**10 941,1**	

Таблица 2

Объем мертвого леса в обследованных сосновых насаждениях

Объект обследования (год обследования)		Текущий отпад	Старый сухостой	Ликвидная захламленность	Итого
Мозырский (2017)	$м^3$	51 134	22 316	735	74 185
	%	68,9	30,1	1,0	100
Калинковичский (2018)	$м^3$	22 722	43 485	544	66 751
	%	34,0	65,2	0,8	100
Светлогорский (2019)	$м^3$	3 627	42 557	845	47 029
	%	7,7	90,5	1,8	100
Лельчицкий (2020)	$м^3$	17 264	17 724	1 568	36 556
	%	47,2	48,5	4,3	100
Итого (2017–2020)	$м^3$	94 747	126 082	3 692	224 521
	%	42,2	56,2	1,6	100,0

В 2018 г. происходит уменьшение доли текущего отпада по сравнению с 2017 г. в 2 раза до 34,0%. Доля старого сухостоя с 2017 г. по 2019 г. увеличилась с 30,1 до 90,5%. Происходит так называемый процесс «перетекания» текущего отпада в старый сухостой и в последующем в захламленность, доля которой увеличилась с 1,0% в 2017 г. до 4,3% в 2020 г. в общем объеме мертвого леса.

Распределение запаса мертвого леса в 2020 г. значительно отличается от общей динамики 2017–2019 гг., когда доля текущего отпада снижалась, а старого сухостоя возрастала. Причина увеличения доли текущего отпада в 2020 г., как упоминалось ранее, – это лесные пожары, прошедшие на территории Лельчицкого лесхоза. Основные насаждения Гомельского Полесья представляют собой биоценозы, характеризующиеся различными происхождением, составом, возрастом, условиями произрастания, продуктивностью и полнотой. В этой связи целесообразно рассмотреть вопрос о влиянии лесоводственно-таксационных характеристик древостоев на встречаемость очагов короедного усыхания в сосняках.

Возраст. На рис. 2 и 3 представлена встречаемость очагов усыхания в зависимости от возраста и происхождения. Нужно обратить внимание, что вершинный короед повреждает очень широкий возрастной диапазон сосновых древостоев.

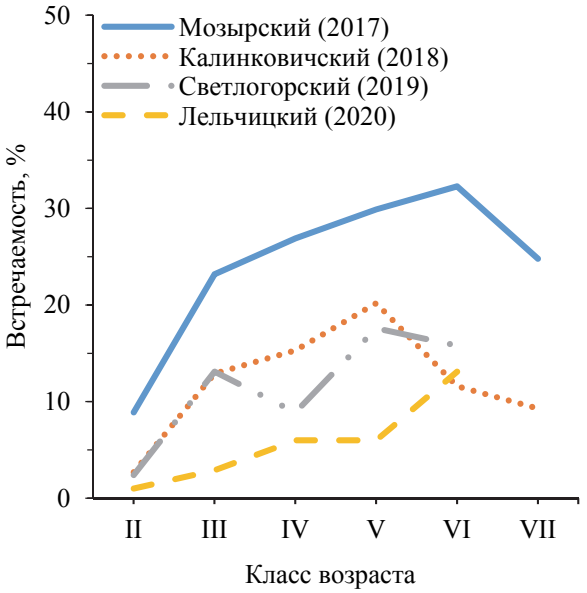


Рис. 2. Встречаемость короедного усыхания в естественных насаждениях различного возраста (условные обозначения на рис. 4–6, представлены на рис. 3)

Восприимчивость к короедному усыханию резко возрастает в средневозрастных сосняках как в насаждениях естественного происхождения, так и в лесных культурах. Ситуация в разных лесхозах имеет свои особенности, но общая тенденция, вытекающая из данных графиков, свидетельствует об увеличении встречаемости короедного усыхания с повышением возраста древостоев.

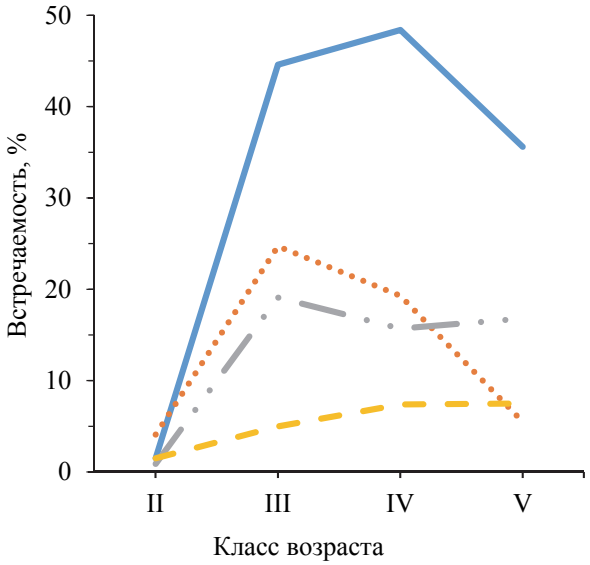


Рис. 3. Встречаемость короедного усыхания в лесных культурах различного возраста

Состав. Очевидно, что с повышением доли сосны в составе древостоев вероятность встретить очаги короедов увеличивается (рис. 4 и 5). Встречаемость короедного усыхания максимальна в чистых сосняках как естественного, так и искусственного происхождения.

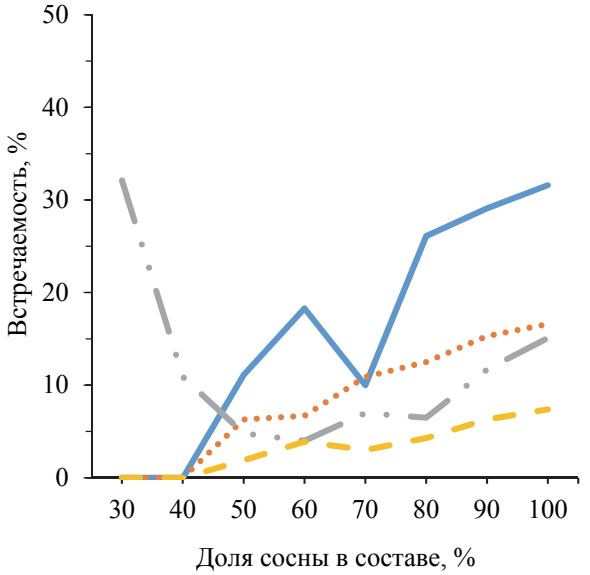


Рис. 4. Встречаемость короедного усыхания в естественных насаждениях с различной долей сосны в составе

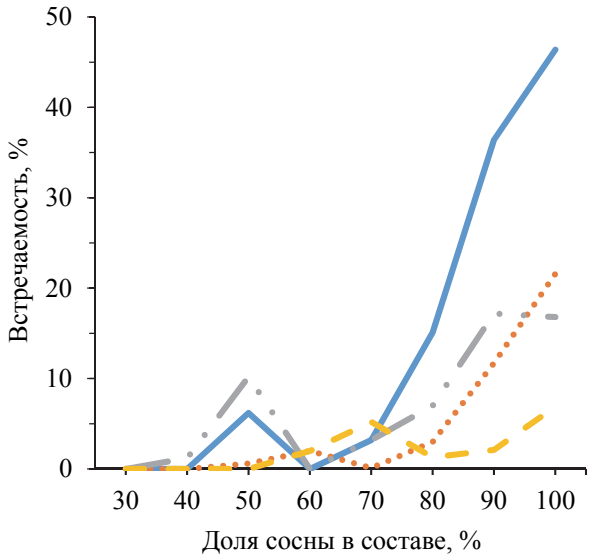


Рис. 5. Встречаемость короедного усыхания
в лесных культурах с различной долей сосны в составе

В Светлогорском лесхозе, территория которого в основном расположена в подзоне елово-грабовых дубрав и в составе сосняков участвует ель европейская, наблюдается усыхание этой породы под воздействием короеда-типографа (*I. typograpus* L.). Выпадая из состава сосновых древостоев практически полностью, ель часто образует участки насаждений III КБУ. Этим во многом и обусловлена большая встречаемость короедного усыхания в сосново-еловых насаждениях естественного происхождения с долей участия сосны в составе 3–4 единицы в данном лесхозе.

Тип леса и бонитет. Изучение данных графических материалов (рис. 6 и 7) позволяет сделать заключение, что наиболее восприимчивы к формированию очагов стволовых вредителей сосняки мшистые, орляковые и кисличные (в отдельных лесхозах, где они произрастают) независимо от своего происхождения.

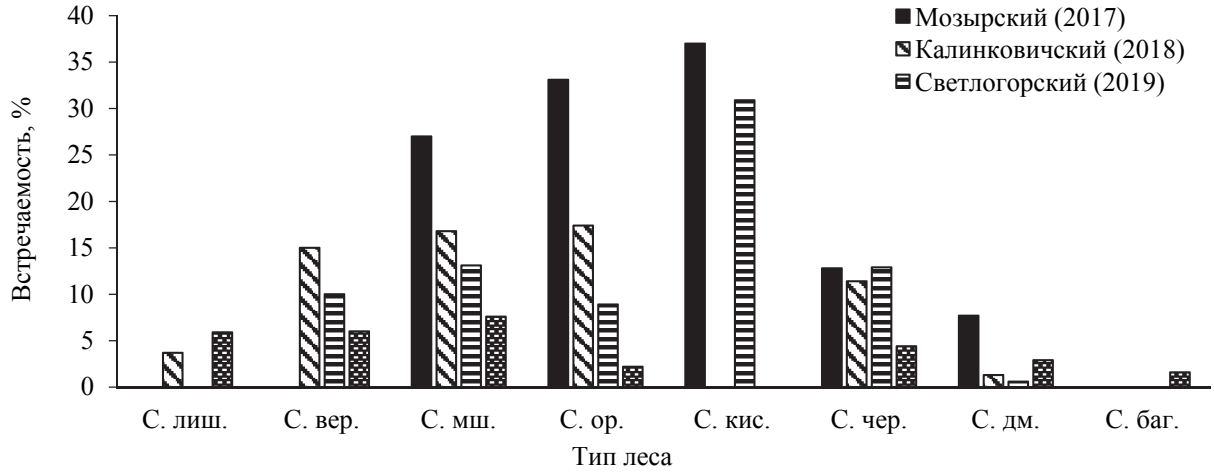


Рис. 6. Встречаемость короедного усыхания
в насаждениях естественного происхождения различных типов леса

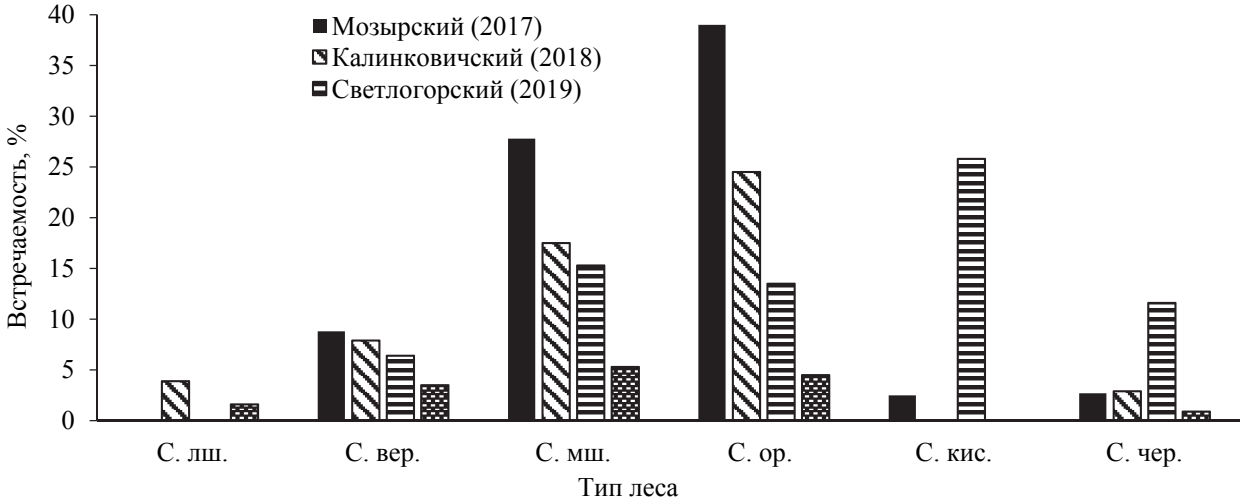


Рис. 7. Встречаемость короедного усыхания
в лесных культурах различных типов леса

Менее подвержены усыханию вересковые (встречаемость очагов до 15,0% в естественных и до 8,8% в искусственных насаждениях) и черничные (встречаемость очагов до 12,9% и до 11,6% соответственно) сосновые древостои.

Насаждения, произрастающие на почвах с избыточным увлажнением (долгомошный и багульниковый типы леса), более устойчивы к короедному усыханию. Реже встречается формирование очагов короедов также и в очень сухих условиях произрастания – сосняках лишайниковых.

Встречаемость очагов короедов в насаждениях различного бонитета показана на рис. 8 и 9, сохраняется она и в древостоях II бонитета (сосняки вересковые, а также мшистые и черничные).

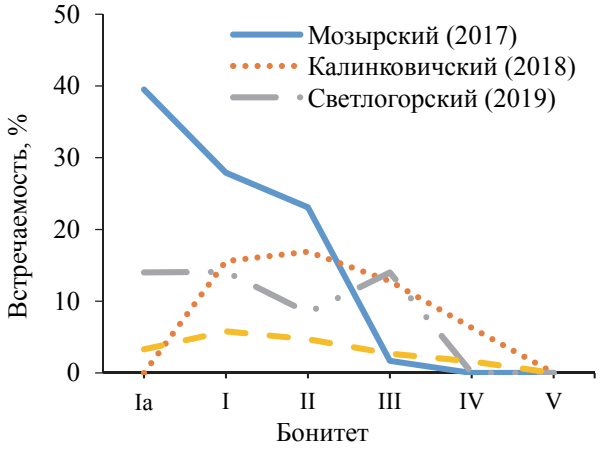


Рис. 8. Встречаемость короедного усыхания в естественных насаждениях различного бонитета (условные обозначения на рис. 9–12, представлены на рис. 9)

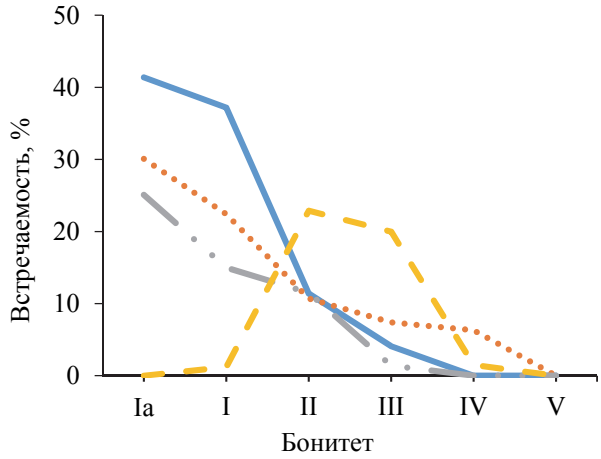


Рис. 9. Встречаемость короедного усыхания в лесных культурах различного бонитета

Общая тенденция заключается в повышении вероятности усыхания сосновых древостоев под воздействием стволовых вредителей с ростом их продуктивности. Это характерно как для насаждений естественного происхождения, так и для лесных культур. Наиболее подвержены усыханию самые высокопродуктивные сосняки Ia и I классов бонитета. Данные древостои как раз и представлены насаждениями, произрастающими в орляковом, кисличном, мшистом, а также черничном типах леса. Высокая вероятность усыхания сосняков под воздействием короедов. В некоторых лесхозах эта тенденция не просматривается, что обусловлено малой выборкой древостоев определенных бонитетов или их отсутствием.

Полнота. Вершинный короед формирует очаги усыхания преимущественно в среднеполнотных и изреженных насаждениях, заселяя хорошо освещенные и прогреваемые участки ствола деревьев в основном в области кроны. Гибель деревьев в очагах приводит к снижению полноты древостоев, а при массовом размножении – к полному расстройству. На рис. 10 и 11 показаны результаты негативного воздействия ксилофагов на состояние сосновых насаждений.

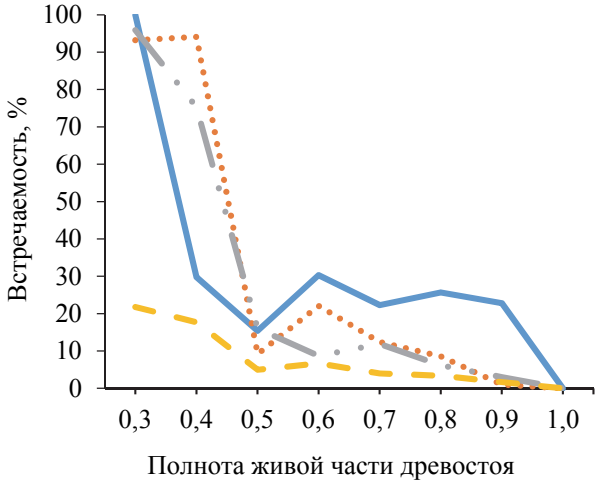


Рис. 10. Встречаемость короедного усыхания в естественных насаждениях различной полноты

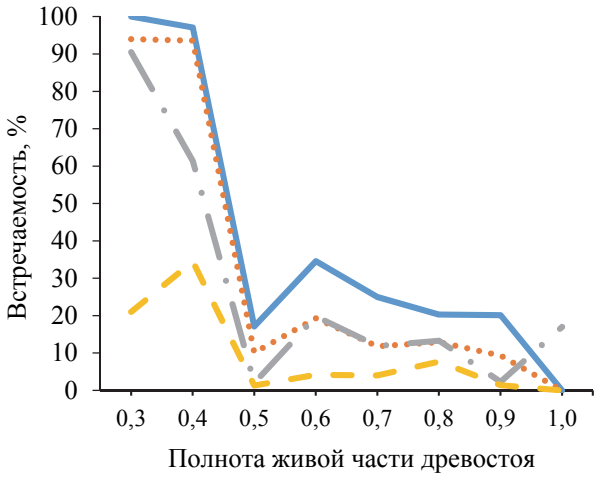


Рис. 11. Встречаемость короедного усыхания в лесных культурах различной полноты

Фактически в насаждениях с полнотой живой части древостоя ниже 0,5 практически в 100% случаев имело место формирование короедных очагов. Важно отметить, что встречаемость короедного усыхания сосны в 2017–2020 гг. в обследованных лесхозах в насаждениях естественного происхождения составила 5,1–24,9%, а в лесных культурах – 4,8–27,5%. Эта незначительная разница свидетельствует о практически одинаковом заселении стволовыми вредителями сосняков вне зависимости от их происхождения.

Проанализированные данные совпадают с результатами исследования В. Л. Мешковой и А. И. Борисенко, согласно которым доля сосны в составе древостоев и возраст насаждений имеют наибольшее значение для прогнозирования возникновения очагов короедного усыхания, а относительная полнота по их же данным является менее важным фактором, чем ее внезапное снижение [7]. Кроме того, мы установили, что существенное влияние на формирование очагов короедов в сосновых древостоях как естественного, так и искусственного происхождения, оказывает тип леса (рис. 6 и 7).

Для управления патологическими процессами в сосновых насаждениях по результатам экспедиционных лесопатологических оследований в 2017–2020 гг. были назначены мероприятия по повышению биологической устойчивости сосняков и ликвидации последствий их массового усыхания, которые представлены в табл. 3. В основном это санитарно-оздоровительные мероприятия, такие как сплошные и выборочные санитарные рубки, уборка захламленности. Самыми востребованными мероприятиями оказались выборочные санитарные рубки – от 22,3 до 51,9% площади сосняков, требующих проведения лесозащитных мероприятий. Рубки ухода, хотя формально и не относятся к санитарно-оздоровительным мероприятиям, в насаждениях с нарушенной устойчивостью выполняют такие же функции. Относительная площадь всех назначенных мероприятий с 2017 г. по 2020 г. уменьшилась в 4,6 раза.

Таким образом, можно утверждать, что состояние сосновых насаждений Гомельского Полесья за 2017–2020 гг. улучшалось, о чем свидетельствуют приведенные выше данные. Подобная ситуация в настоящее время наблюдается в большинстве сосняков Беларуси. Усыхание сосновых древостоев, по данным учреждения «Беллесозащита», в 2016–2020 гг. в стране сильно варьировало (2016 г. – 1,0 млн м^3, 2017 г. – 8,0 млн м^3, 2018 г. – 12,9 млн м^3, 2019 г. – 7,4 млн м^3, 2020 г. – 6,0 млн м^3). В целом объем усыхания в 2020 г. оставался довольно значительным, что свидетельствует о ряде нерешенных лесопатологических проблем. Одна из таких проблем – продолжение короедного усыхания сосны, что подтверждает необходимость дальнейшего изучения данного вопроса.

Заключение. В Гомельском Полесье наблюдается тенденция увеличения доли биологически устойчивых сосняков с 59,6 в 2017 до 83,5% в 2020 г. Участие насаждений, утративших биологическую устойчивость, уменьшилось с 6,6 в 2017 г. до 3,3% в 2020 г. Встречаемость короедного усыхания с 2017 г. по 2020 г. снизилась практически в 6 раз (с 30,1 до 5,0%). Доля текущего отпада (без учета влияния пожаров в 2020 г.) в составе мертвого леса уменьшилась с 2017 по 2019 г. в 8,9 раз, что является индикатором сокращения площади действующих очагов ксилофагов и участков древостоев, на которых происходят патологические процессы. Относительная площадь насаждений, требующих проведения санитарно-оздоровительных мероприятий, за 2017–2020 гг. уменьшилась в 4,6 раза.

Таблица 3

Объем мероприятий, назначенных для управления патологическими процессами в сосновых насаждениях на 10 000 га обследованной площади

Объект обследования (год обследования)		ССР	ВСР	УЗ	РУ	Итого
Мозырский (2017)	га	620	1484	727	29	2860
	%	21,9	51,7	25,4	1,0	100
Калинковичский (2018)	га	438	966	457	–	1861
	%	23,5	51,9	24,6	–	100
Светлогорский (2019)	га	214	386	688	5	1293
	%	16,5	29,9	53,2	0,4	100
Лельчицкий (2020)	га	174	139	203	108	624
	%	27,9	22,3	32,6	17,2	100

Примечание. ССР – сплошные санитарные рубки; ВСР – выборочные санитарные рубки; УЗ – уборка захламленности; У – рубки ухода, назначенные в насаждениях с нарушенной устойчивостью.

Основными характеристиками сосновых насаждений, влияющими на формирование короедных очагов, являются возраст, состав древостоя и тип леса. Встречаемость короедного усыхания возрастает с увеличением возраста, доли сосны в составе древостоев и продуктивности насаждений. В наибольшей степени поражаются чистые сосняки старше 40 лет в орляковом, мшистом и кисличном типах леса, произрастающие по Iа и I классам бонитета. Происхождение насаждений практически не оказывает влияния на возникновение очагов короедов в сосняках.

Контроля со стороны лесоводов требуют насаждения, пораженные пестрой ситовой гнилью корней сосны, вызываемой корневой губкой, как потенциальные очаги стволовых вредителей.

Необходимо дальнейшее комплексное изучение проблемы массового усыхания сосновых насаждений с целью выявления большего числа критериев предрасположенности сосняков к формированию очагов ксилофагов, совершенствования мониторинга и лесозащитных мероприятий.

Список литературы

1. Звягинцев В. Б., Сазонов А. А. Короедное усыхание сосны (*Pinus sylvestris* L.) в лесах Беларуси // VIII Чтения памяти О. А. Катаева. Вредители и болезни древесных растений России: материалы Междунар. конф., 18–20 нояб. 2014 г. СПБ.: СПбГЛТУ, 2014. С. 34.

2. Душин Н. Г. Стволовые вредители в ослабленных корневой губкой сосновых насаждениях БССР и пути ограничения их численности: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.11. Самохваловичи, 1981. 211 л.

3. Лесопатологическое и санитарное состояние лесов Республики Беларусь в 2017 году и прогноз развития патологических процессов на 2018 год. Минск: Беллесозащита, 2018. 76 с.

4. Лабоха К. В., Луферов О. А., Карась А. Н. Современное состояние сосновых лесов Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 1. С. 28–38.

5. Защита леса: учеб.-метод. пособие / В. Б. Звягинцев [и др]. Минск: БГТУ, 2019. 164 с.

6. Сазонов А. А., Звягинцев В. Б. Анализ структуры лесозащитных мероприятий в очагах сосновой корневой губки // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 2. С. 126–131.

7. Meshkova V. L., Borysenko O. I. Prediction for bark beetles caused desiccation of pine stands // Forestry and forest melioration. 2018. Issue 132. P. 155–161.

References

1. Zvyagintsev V. B., Sazonov A. A. Bark beetle drying up of pine (*Pinus sylvestris* L.) in the forests of Belarus. *Materialy Mezhdunar. konf.* "*VIII Chteniya pamyati O. A. Kataeva. Vrediteli i bolezni drevesnykh rasteniy Rossii"* [Materials of the international conference "VIII Readings in memory of O. A. Kataeva. Pests and diseases of woody plants in Russia"]. St. Petersburg, 2014. P. 34 (In Russian).

2. Dushin N. G. *Stvolovyye vrediteli v oslablennykh kornevoy gubkoy sosnovykh nasazhdeniyakh BSSR i puti ogranicheniya ih chislennosti. Dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Stem pests in pine plantations of the BSSR weakened by a root sponge and ways to limit their number. Diss. PhD (Agriculture Science)]. Samokhvalovichi, 1981. 211 p.

3. *Lesopatologicheskoyye i sanitarnoye sostoyaniye lesov Respubliki Belarus' v 2017 godu i prognoz razvitiya patologicheskikh protsessov na 2018 god* [Forest pathology and sanitary state of forests of Belarus in 2017 and forecast of the development of pathological processes in 2018]. Minsk, Bellesozashchita Publ., 2018. 76 p.

4. Labokha K. V., Luferov O. A., Karas' A. N. The current state of the pine forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Natural Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 1, pp. 23–28 (In Russian).

5. Zvyagintsev V. B., Blintsov A. I., Kozel A. V., Kukhta V. N., Sazonov A. A., Seredich M. O., Khvasko A. V. *Zashchita lesa* [Forest protection]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 164 p.

6. Sazonov A. A., Zvyagintsev V. B. Analysis of the forest protective activities structure in the origins of pine root rot. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Natural Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2, pp. 126–131 (In Russian).

7. Meshkova V. L., Borysenko O. I. Prediction for bark beetles caused desiccation of pine stands. *Forestry and forest melioration*, 2018, issue 132, pp. 155–161 (In English).

Информация об авторах

Бабуль Дмитрий Александрович – магистрант кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). Инженер-лесопатолог лесоустроительной партии 1-й Минской лесоустроительной экспедиции. РУП «Белгослес» (220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 27, Республика Беларусь). E-mail: babuld@bk.ru

Сазонов Александр Александрович – старший преподаватель кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). Начальник лесоустроительной партии 1-й Минской лесоустроительной экспедиции РУП «Белгослес» (220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 27, Республика Беларусь). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

Кухта Валерий Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.kukhta80@gmail.com

Уколова Елизавета Андреевна – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Information about the authors

Babul' Dmitry Aleksandrovich – Master's degree student, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). Forest pathologist engineer, I Minsk Forest Inventory Expedition. RUE "Belgosles" (27, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: babuld@bk.ru

Sazonov Aleksandr Aleksandrovich – Senior Lecturer, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). Head of I Minsk Forest Inventory Expedition. RUE "Belgosles" (27, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

Kukhta Valery Nikolayevich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republik of Belarus). E-mail: v.kukhta80@gmail.com

Ukolova Elizaveta Andreyevna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republik of Belarus).

Поступила 15.04.2021

УДК 721.05:376

О. П. Евсеева, П. В. Шумская
Белорусский государственный технологический университет

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЛАНДШАФТНОЙ АДАПТАЦИИ АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЫ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБЩЕГО СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ДЕТЕЙ С ОПФР И ИНВАЛИДОВ

В статье приведены статистические данные по республики Беларусь о количестве детей инвалидов и детей с особенностями психофизического развития. Дано обоснование необходимости создания комфортных архитектурно-ландшафтных условий, способствующих пребыванию в учреждении среднего образования. Описаны компоненты архитектурно-ландшафтной среды (внутренней и внешней). Проанализированы данные научно-исследовательских работ, государственные программы, планы мероприятий по проблеме формирования архитектурно-пространственной среды для лиц с ограниченными возможностями.

Приведен анализ состояния проблемы на примере г. Дзержинска Минской области. На основе обследования внешней архитектурно-ландшафтной среды ГУО «Средняя школа № 4 г. Дзержинска» даны результаты соответствия компонентов архитектурно-пространственной среды нормативным показателям, рекомендации по ландшафтной адаптации архитектурно-пространственной среды для детей с особенностями психофизического развития и детей-инвалидов.

Ключевые слова: адаптация, ландшафт, архитектурно-ландшафтная среда, инвалиды, дорожно-тропиночная сеть, нормативные показатели.

Для цитирования: Евсеева О. П., Шумская П. В. Рекомендации по ландшафтной адаптации архитектурно-пространственной среды учреждений общего среднего образования для детей с ОПФР и инвалидов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 121–127.

O. P. Evseeva, P. V. Shumskaya
Belarusian State Technological University

RECOMMENDATIONS FOR LANDSCAPE ADAPTATION OF THE ARCHITECTURAL AND SPATIAL ENVIRONMENT OF GENERAL SECONDARY EDUCATION INSTITUTIONS FOR CHILDREN WITH OPFR AND THE DISABLED

The article presents statistical data for the Republic of Belarus on the number of children with disabilities and children with special psychophysical development. The article provides a justification for the need to create comfortable architectural and landscape conditions that contribute to staying in a secondary education institution. The components of the architectural and landscape environment (internal and external) are described. The article analyzes the data of research works, state programs, and action plans on the problem of creating an architectural and spatial environment for people with disabilities.

The analysis of the state of the problem is given on the example of Dzerzhinsk, Minsk region. Based on the survey of the external architectural and landscape environment of the State Educational Institution «Secondary School No. 4 of Dzerzhinsk", the results of the compliance of the components of the architectural and spatial environment with the normative indicators are presented. Recommendations on landscape adaptation of the architectural and spatial environment for children with special needs of mental and physical development and children with disabilities are given.

Key words: adaptation, landscape, architectural and landscape environment, disabled people, road and path network, regulatory indicators.

For citation: Evseeva O. P., Shumskaya P. V. Recommendations for landscape adaptation of the architectural and spatial environment of general secondary education institutions for children with OPFR and the disabled. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 121–127 (In Russian).

Введение. Ландшафтная адаптация архитектурно-ландшафтной среды учреждений образования для инвалидов и лиц с ОПФР приобретает все большую актуальность в связи с распространением практики смешанного обучения в общеобразовательных школах. В настоящее время, по данным от 1 июля 2020 г., в Беларуси на учете в органах по труду и соцзащите состояли 575,7 тыс. человек по инвалидности. По данным от 17 декабря 2020 г., в Беларуси проживают

170 468 детей с особенностями психофизического развития (ОПФР) (рис. 1, 2, 3). Большая часть особенных детей (60%) имеют легкие нарушения в развитии, а инвалидность – 14 234 человека [1]. Уровень врожденных аномалий у детей до 18 лет составляет 25,3%, у 16,8% детей причиной инвалидности являются болезни нервной системы, болезни психического расстройства составляют 16,6%. В Республике Беларусь большое внимание уделяется созданию условий для жизни и развития детей с ОПФР и инвалидов. По всей республике функционируют как специализированные, так и смешанного типа учреждения общего среднего образования.

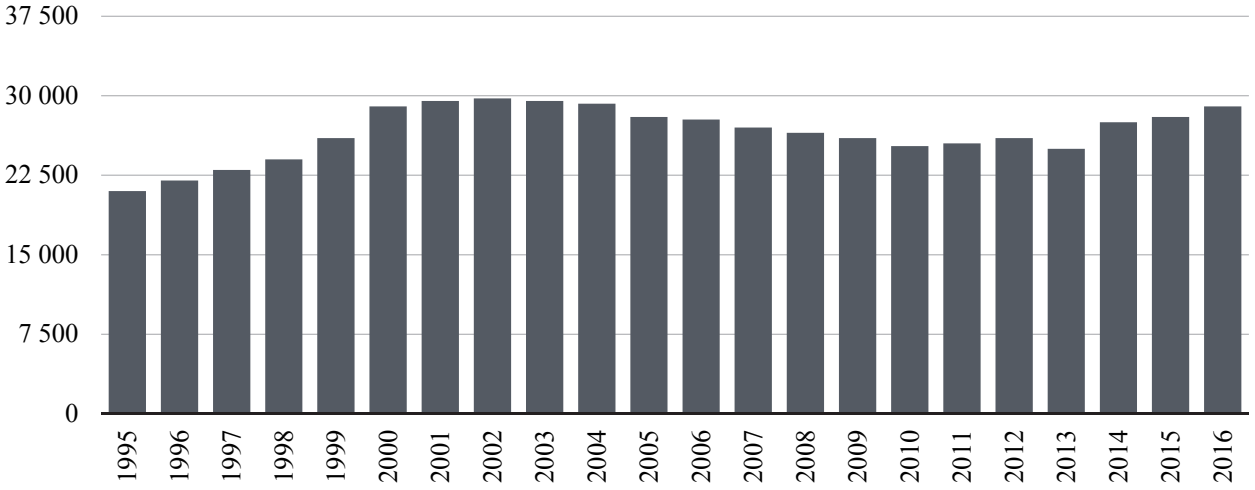


Рис. 1. Численность детей-инвалидов в возрасте до 18 лет, состоящих на учете в органах по труду, занятости и социальной защите (1995–2016 гг.)

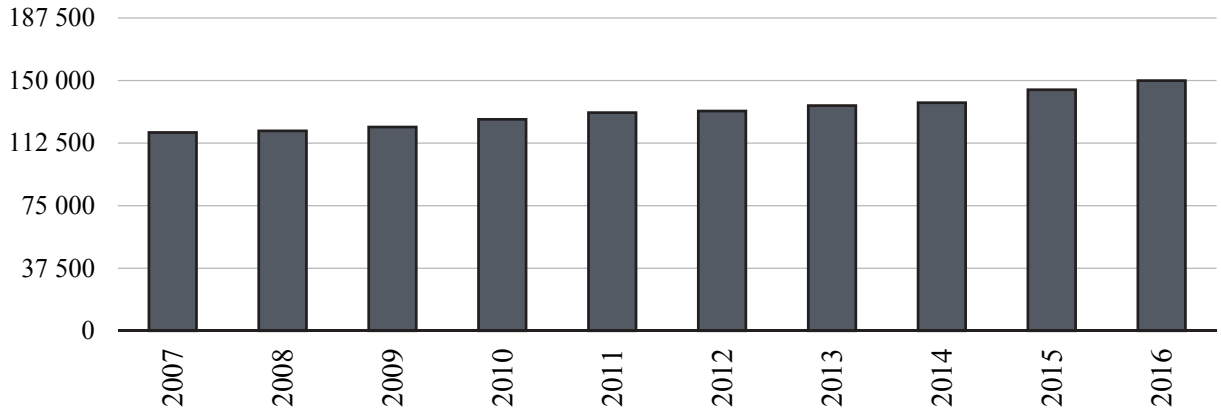


Рис. 2. Количество детей с ОПФР в Республике Беларусь (2007–2016 гг.)

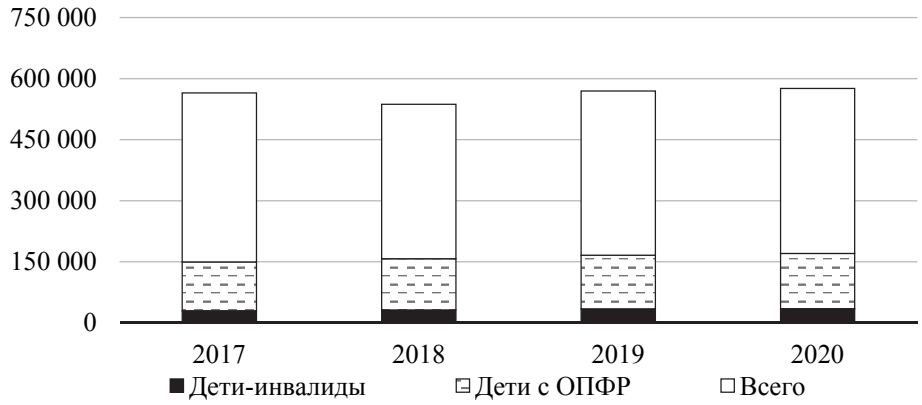


Рис. 3. Статистические данные по количеству детей инвалидов и детей с ОПФР (2017–2020 гг.)

Получение образования является приоритетом, в том числе в рамках реализации концепции развития инклюзивного образования для лиц с ОПФР на 2015–2020 и последующие годы, т. е. для лиц, имеющих физические и (или) психические нарушения, которые ограничивают его социальную деятельность и препятствуют получению образования без создания для этого специальных условий [2], а также инвалидов, согласно Национальному плану действий по реализации в Республике Беларусь положений Конвенции о правах инвалидов на 2017–2025 годы, – это лицо с устойчивыми физическими, психическими, интеллектуальными или сенсорными нарушениями, которые при взаимодействии с различными барьерами мешают полному и эффективному участию его в жизни общества наравне с другими гражданами [3].

Для данных категорий населения необходимо создание особых архитектурно-пространственных условий для комфортного пребывания и обучения. Под архитектурно-пространственной средой (АПС) подразумеваем ту часть нашего окружения, которая образована архитектурно (художественно) обоснованными объемно-пространственными структурами, системами оборудования и благоустройства, объединенными в целостность по законам художественного единства [4]. АПС может быть как внешней (экстерьер), так и внутренней (интерьер). К компонентам внешней АПС относятся дорожки, площадки различного функционального назначения, входы и выходы на территорию, в здания и сооружения, парковки. К компонентам внутренней АПС относят помещения различного функционального назначения, инженерные сооружения для перемещения в горизонтальном и вертикальном пространствах.

Основная часть. В Беларуси с 1990 г. ведутся научно-исследовательские работы, направленные на формирование АПС, доступной для лиц с ограниченными возможностями [5, 6]. На основании проведенных исследований сформирован комплекс нормативов, позволяющих при архитектурно-планировочной организации жилых территорий и отдельных жилых, общественных, административных зданий и сооружений обеспечивать базовые требования к безбарьерной среде. Нормы о доступности физической среды жизнедеятельности инвалидов находят свое отражение в законодательстве и реализуются с 2007 г. в рамках государственных программ (подпрограмм) по созданию безбарьерной среды жизнедеятельности инвалидов и физически ослабленных лиц. При выполнении мероприятий данных государственных программ (подпрограмм) постоянно увеличивается количество зданий и сооружений, оборудованных элементами безбарьерной среды. Ведется работа по увеличению количества адаптированных для инвалидов социальных, бытовых и других услуг, а также информации.

Помимо инвалидов, передвигающихся на креслах-колясках (примерно 0,1–0,2% населения), необходимо учитывать особенности ландшафтной адаптации архитектурно-пространственной среды учреждений образования для других групп инвалидов и детей с ОПФР:

– лиц с другими нарушениями опорно-двигательного аппарата (вследствие ампутации, травмы, детского церебрального паралича, артрита, артроза и т. п.). Их специфические требования также, как и предыдущей категории, касаются прежде всего горизонтальных и вертикальных коммуникаций, но они не совпадают с требованиями колясочников;

– слепых и слабовидящих. Этой категории необходимо обогащение информационного поля среды с тем, чтобы компенсировать отсутствие или резкую недостаточность зрительных ощущений, закрепление в пространстве рабочего поля, определенный порядок размещения средовых элементов в границах этого поля и др.;

– глухих и слабослышащих. В этой группе велика доля молодых, активных, спортивных, для которых, как ни для одной другой категории, важна близость к жилищу открытых и закрытых спортивных сооружений;

– с детьми-инвалидами и ОПФР. Их специфические требования, непосредственно связанные с состоянием ребенка, касаются всех уровней среды – от планировки и оборудования учебного пространства и школьного двора до наличия специальных лечебного и учебного оборудования. Учет этих требований чрезвычайно важен, от него зависит степень реабилитации и социализации ребенка.

В целом, по данным отдела образования, в Дзержинском районе проживает 694 детей-инвалидов и детей с ОПФР, что составляет 0,41% от общего количества детей-инвалидов в Республике Беларусь. Среди учеников анализируемой школы были выделены следующие категории учеников с нарушениями: зрения, слуха, речи, опорно-двигательного аппарата, дети с интеллектуальной недостаточностью и другие заболевания, не входящие в данные категории.

Для анализа состояния внешней АПС был выбран объект ГУО «Средняя школа № 4 г. Дзержинска» (рис. 4), так как данный объект является центром социального обслуживания для детей с ОПФР. Их численность составляет 111 учеников (32 из которых инвалиды), это 11% от общей численности учеников в школе (рис. 4).

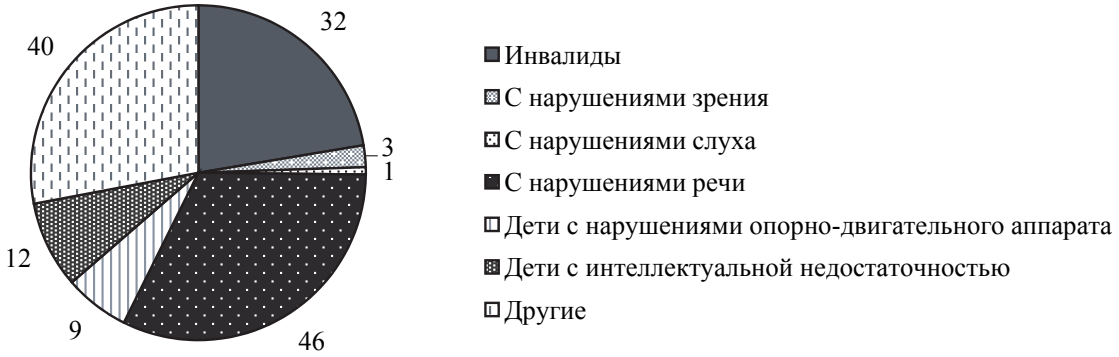


Рис. 4. Численность и категории детей-инвалидов и детей с ОПФР в ГУО «Средняя школа № 4 г. Дзержинска» на момент начала 2021 г.

На основе действующих в Республике Беларусь таких нормативных документов, как СТБ 2030-2010 «Среда обитания для физически ослабленных лиц. Основные положения», СНиП 35-01-2001 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения», Закон Республики Беларусь об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь и других нормативно-правовых документов был проведен анализ внешней АПС ГУО «Средняя школа № 4 г. Дзержинска», а именно основных показателей размеров и типов покрытий, необходимых для данной группы населения [7–15]. Более глубокое натурное обследование выявило неприспособленность отдельных зон школьного участка к требованиям лиц с ограниченными возможностями здоровья из-за ряда недостатков: отсутствие пандусов, ограждений, отсутствие площадок для парковки транспортных средств инвалидов, мест отдыха и ожидания, несоответствие типов покрытия, выровненности и ширины дорожного полотна (таблица). АПС проводится с целью создания полноценной функционально-технической организации среды с учетом антропометрических особенностей категории лиц с ОПФР и инвалидов структуре «человек – деятельность – жизненный процесс – пространство».

Требования инвалидов к путям передвижения в рамках ландшафтной адаптации архитектурно-пространственной среды. Основные требования исходят от лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата, которым необходима безбарьерная среда, обеспечивающая им возможность самостоятельного передвижения внутри зданий и на открытом воздухе. Для инвалидов, передвигающихся на кресле-коляске, нужны достаточные размеры путей передвижения и проемов на их пути, наличие мест для разворота коляски, отсутствие порогов и других резких перепадов высот, устройство пандусов, подъемников и лифтов там, где такие перепады неизбежны. Для лиц с другими поражениями опорно-двигательного аппарата важен уклон лестниц, наличие ограждений определенной высоты с удобными для охвата кистью перилами. Для всех важно размещение, нескользкие покрытия путей передвижения, в том числе при охлаждении и увлажнении. Для слабовидящих требуется контрастное выделение краев ступеней, для слепых – ограничительные бортики на дорожках и лестницах.

В результате обследования территории УО «Средняя школа № 4 г. Дзержинска» выявлено, что к основным зданиям и системам дорожно-тропиночной сети доступ обеспечен, тип покрытия и их ширина отвечают необходимым нормам, перечисленные компоненты являются основополагающими и занимают большую часть территории. Компоненты АПС на территории хозяйственной части школы и в зоне спортивной площадки нуждаются в адаптации для детей с ОПРФ и инвалидов, дорожно-тропиночная сеть не соответствуют нормативным требованиям. Для этого необходимо провести ремонтные работы по замене покрытия и увеличению ширины дорожек, выполнить адаптацию существующих лестничных спусков, которые не соответствуют требованиям и отличны от норм. Входы и выходы на территорию и в здания и сооружения соответствуют предъявляемым требованиям.

Заключение. Проблема адаптации архитектурно-пространственной среды остается актуальной для Республики Беларусь несмотря на то, что действия по ландшафтному улучшению архитектурного пространства уже начали реализовываться и набирают скорость в своем осуществлении на государственном уровне. Ежегодно увеличивается численность детей-инвалидов и детей с ОПФР, возрастает потребность в адаптации учреждений образования к данным категориям населения.

Анализ соответствия компонентов архитектурно-пространственной среды требованиям нормативных показателей

Компоненты архитектурно-пространственной среды	Показатели из нормативных документов	Описание	Показатель соответствия компонента АПС существующим нормативам
Дорожки			
Возле главного входа	Не менее 1,5 м в ширину при одностороннем движении лиц на креслах-колясках; покрытие твердое, прочное, не скользящее, толщина швов между плитками не более 10 мм, контрастируют с цветом и фактурой прилегающих поверхностей	Из бетонных плит, которые расположены попарно в ряду, плоскость всех плит не выровнена, большие зазоры между плитами, ширина 1,4 м	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Подход к стадиону		Песчаная дорожка шириной 0,7 м с небольшой степенью каменистости, по обеим сторонам находится бордюр	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Дорожка с заднего двора до школы		Асфальтированная, покрытие старое, неровное, с трещинами и выбоинами, ширина колеблется на протяжении всей дорожки, сужается к отдалению от школы, минимальные размер 80 см, максимально 1,5 м	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Вдоль яблоневого сада		Асфальтированная, покрытие старое, неровное, с выбоинами, ширина 3 м	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Беговая дорожка		Асфальтированная и на небольшом участке пути полупесчаная, покрытие старое, неровное, с трещинами и выбоинами, ширина колеблется на протяжении всей дорожки	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Дорога		Предназначена для комфортабельного подъезда непосредственно ко входу школы, имеет ширину 3,5 м, покрытие – асфальт	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Площадки			
Возле входа в школу	Вне границ пешеходного пути, углы должны быть скруглены	Имеет достаточно крупные размеры, покрытие аналогично дороге, площадка выровнена	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Внутренний двор		Имеет достаточно крупные размеры, покрытие аналогично дороге, площадка выровнена	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Спортивная площадка		Имеет достаточно крупные размеры, покрытие – асфальт с высокой степенью каменистости, площадка выровнена	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Площадка за школой		Имеет достаточно крупные размеры, покрытие аналогично дороге, площадка выровнена	Ширина – нет Тип покрытия – да Выровненность – нет
Входы и выходы			
Главный вход на территорию	Ширина пандуса не менее 1 м, уклон марша при его длине до 10 м не более 10%, высота подъема марша не более 0,8 м, вход	Осуществляется с главной улицы, есть место, не препятствует движению, ждать, пока откроют ворота для заезда на территорию, рядом калитка, через которую осуществляется вход пешеходов	Да
Дополнительный вход на территорию		Осуществляется с дороги, не являющейся главной, ворота старые, хорошо работающие, для транспорта	Да
Вход во внутренний двор (арка)	Количество ступеней в марше от 3 до 12, после каждого марша пандус, длина которого не менее 1,5 м, форма ступеней одинакова по всей длине марша, высота ступеней не более 12 см и ширина не менее 40 см	Выполнен в виде арки, высота 3 м и ширина 3,7 м, предназначен для комфортного проезда транспорта	Да
Вход во внутренний двор (со школы)		Представляет собой 2 двери, находящиеся на расстоянии 3 м друг от друга, двери стеклянные, они выходят на площадку шириной 1 м с 2 лестницами напротив дверей, площадка оборудована поручнями и ограждениями, ширина лестниц 0,85 м, ступени разные по высоте, почти одинаковые по ширине, без пандусов	Нет
Главный вход в школу		Лестница широкая, высота ступеней и их ширина одинаковы, есть пандус с поручнями	Да

К рекомендациям по ландшафтной адаптации архитектурно-пространственной среды учреждений общего среднего образования относится создание ландшафтной предметно-развивающей среды, которая основывается на следующих принципах:

– полифункциональность: предметно-развивающая среда должна открывать перед детьми множество возможностей и должна быть многофункциональной;

– трансформированность: представляет возможность вносить изменения, позволяющие по ситуации, вынести на первый план ту или иную функцию пространства;

– вариативность: предметно-развивающая среда предполагает периодичную сменяемость материала;

– насыщенность: среда соответствует содержанию образовательной программы;

– доступность: среда обеспечивает свободный доступ детей к играм, материалам, учебным пособиям;

– безопасность: среда предполагает соответствие по обеспечению надежности и безопасности.

Предполагаемые ландшафтные зоны архитектурно-пространственной среды: учебная зона, игровая зона, зона творчества, зона краеведения, хозяйственный двор, зона безопасности, зона безопасности дорожного движения, зона правового всеобуча, уголок здоровья, информационная зона и др. Адаптированы зоны способствуют детям с ограниченными возможностями понять, что они так же полноценны, как и все люди. Проводить мероприятия по адаптации необходимо начинать с их психологической зоны комфорта, помочь им преодолеть каждодневную борьбу с несамостоятельностью, потому что большая часть того, что их окружает, не предназначено для полноценного потребления.

Список литературы

1. БЕЛТА – новости Беларуси / В Беларуси более 70% детей с особенностями развития обучаются в интегрированных классах. 3 дек. 2020. Режим доступа: https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-bolee-70-detej-s-osobennostjami-razvitija-obuchajutsja-vintegrirovannyh-klassah-418522-2020/ (дата обращения: 17.01.2021).

2. Кодекс Республики Беларусь об образовании от 13.01.2011 г. № 243-З. Минск, 2010. 400 с.

3. Национальный план действий по реализации в Республике Беларусь положений Конвенции о правах инвалидов на 2017–2025 годы от 13.06.2017. № 451. Минск, 2017. 11 с.

4. Студопедия / Понятие об архитектурной среде. Режим доступа: https://studopedia.info/1-17630.html (дата обращения: 17.01.2021).

5. Хачатрянц К. К., Мазаник А. В., Иваницкая Е. А. Среда обитания для физически ослабленных лиц. Основные положения. Техническое нормирование и стандартизация: ГОСТ/ Репозиторий БНТУ. Минск, 2017. С. 24–25. Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/4811/c. (дата обращения: 17.01.2021).

6. Хачатрянц К. К. Развитие нормативной базы проектирования среды обитания, адаптированной к возможностям физически ослабленных лиц. Теория и история архитектуры/ Репозиторий БНТУ. Минск, 2011. С. 60–66. Режим доступа: https://core.ac.uk/reader/323161273 (дата обращения: 17.01.2021).

7. О социальной защите инвалидов в Республике Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 11.11.1991 (ред. от 16.11.2010). № 1224-XII, гл. 6. Минск, 2010. 11 с. Режим доступа: http://mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/files/ZAKON-RB-O-sotsialnoj-zaschite-invalidov-v-Respublike-Belarus.pdf (дата обращения: 17.01.2021).

8. О предупреждении инвалидности и реабилитации инвалидов: Закон Респ. Беларусь от 23.07.2008 (ред. от 12.12.2013). № 422-З. Минск, 2013. 15 с. Режим доступа: http://mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/files/ZAKON-RB-O-preduprezhdenii-invalidnosti-i-reabilitatsii-invalidov.pdf (дата обращения: 17.01.2021).

9. О государственной программе по созданию безбарьерной среды жизнедеятельности физически ослабленных лиц на 2011–2015 годы: постановление Совета министров Респ. Беларусь от 1 нояб. 2010 г. (ред. от 04.09.2014). № 1602. Минск, 2014. 44 с. Режим доступа: http://www.mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/files/Programma-po-sozdaniju-bezbarjernoj-sredy-1.pdf (дата обращения: 17.01.2021).

10. Об утверждении и введении в действие технических нормативных правовых актов в строительстве: приказ М-ва архитектуры Респ. Беларусь от 17.12.2007 (ред. от 02.05.2014, с изм. от 26.08.2014). № 409. Минск, 2014.

11. Среда обитания для физически ослабленных лиц: СТБ 2030-2010. Введ. 01.08.2010 (изм. 01.01.2014). Минск, 2014.

12. Административные и бытовые здания: СНБ 3.02.03-03 (взамен СНиП 2.09.04-87): утв. приказом М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь от 28 июля 2003 г. № 142. Минск, 2003.

13. Жилые здания: СНБ 3.02.04-03: утв. приказом М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь от 26.08.2003 г. № 165. Минск, 2003.

14. Общественные здания и сооружения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-290-2013: утв. приказом М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь от 11.10.2013 г. № 389. Минск, 2013.

15. Здания и помещения розничных торговых объектов: ТКП 45-3.02-240-2010: утв. приказом М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь от 22.04.2011 г. № 133. Минск, 2014.

References

1. *BELTA – novosti Belarusi* [Belarus news] / In Belarus, more than 70% of children with special needs are taught in integrated classes. December 3, 2020. Available at: https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-bolee-70-detej-s-osobennostjami-razvitija-obuchajutsja-v-integrirovannyh-klassah-418522-2020/ (accessed 17.01.2021).

2. *Kodeks Respubliki Belarus' ob obrazovanii* [The Code of the Republic of Belarus on Education]. Minsk, 2010. 400 p.

3. *Natsional'nyy plan deystviy po realizatsii v Respublike Belarus' polozheniy Konventsii o pravakh invalidov na 2017–2025 gody* [National action plan for the implementation in the Republic of Belarus of the provisions of the Convention on tht Rights of Persons with Disabilities for 2017–2025]. Minsk, 2017. 11 p.

4. *Studopediya. Ponyatiye ob arkhitekturnoy srede* [Studopedia. Understanding the architecture environment]. Available at: https://studopedia.info/1-17630.html (accessed 17.01.2021).

5. Khachatryants K. K., Mazanik A. V., Ivanitskaya E. A. *Sreda obitaniya dlya fizicheski oslablennykh lits. Osnovnyye polozheniya. Tekhnicheskoye normirovaniye i standartizatsiya* [State Standard of the Republic of Belarus "Habitat for physically impaired persons. Basic provisions"]. Minsk, 2017, pp. 24–25. Available at: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/4811/c (accessed 17.01.2021).

6. Khachatryants K. K. *Razvitiye normativnoy bazy proyektirovaniya sredy obitaniya, adaptirovannoy k vozmozhnostyam fizicheski oslablennykh lits. Teoriya i istoriya arkhitektury* [Development of a regulatory framework for designing a living environment adapted to the capabilities of physically disabled persons. Theory and history of architecture]. Minsk, 2011, pp. 60 – 66. Available at: https://core.ac.uk/reader/323161273 (accessed 17.01.2021).

7. *O sotsial'noy zashchite invalidov v Respublike Belarus': Zakon Resp. Belarus', 11.11.1991, №. 1224-XII, ch. 6* [About social protection of disabled people in the Republic of Belarus: the Law of the Republic of Belarus of 11.11.1991 (ed. of 16.11.2010), no. 1224-XII (ch. 6)]. Minsk, 2010. 11 p. Available at: http://mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/files/ZAKON-RB-O-sotsialnoj-zaschite-invalidov-v-Respublike-Belarus.pdf (accessed 17.01.2021).

8. *O preduprezhdenii invalidnosti i reabilitatsii invalidov: Zakon Resp. Belarus', 23.07.2008, № 422-3* [On the prevention of disability and rehabilitation of disabled people: Law of the Republic of Belarus of 23.07.2008 (ed. of 12.12.2013), no. 422-Z]. Minsk, 2013. 15 p. Available at: http://mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/files/ZAKON-RB-O-preduprezhdenii-invalidnosti-i-reabilitatsii-invalidov.pdf (accessed 17.01.2021).

9. *O gosudarstvennoy programme po sozdaniyu bezbar'yernoy sredy zhiznedeyatel'nosti fizicheski oslablennykh lits na 2011–2015 gody: postanovleniye Soveta ministrov Resp. Belarus', 1 noyab. 2010 g., № 1602* [On the state program for creating a barrier-free living environment for physically disabled persons for 2011–2015: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of November 1, 2010 (ed. from 04.09.2014), no. 1602]. Minsk, 2014. 44 p. Available at: http://www.mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/files/Programma-po-sozdaniju-bezbarjernoj-sredy-1.pdf (accessed 17.01.2021).

10. *Ob utverzhdenii i vvedenii v deystviye tekhnicheskikh normativnykh pravovykh aktov v stroitel'stve : Prikaz Ministerstva stroitel'stva i arkhitektury Resp. Belarus', 17.12.2007 g., № 409* [On the approval and introduction of technical regulatory legal acts in construction: order of the Ministry of Architecture of the Republic of Belarus. Belarus from 17.12.2007 (ed. from 02.05.2014, with amendments. dated 26.08.2014), no. 409]. Minsk, 2014.

11. CTB 2030-2010. Habitat for physically disabled persons. Minsk, 2014 (In Russian).

12. CNB 3.02.03-03. Administrative and household buildings. Minsk, 2003 (In Russian).

13. CNB 3.02.04-03. Residential buildings. Minsk, 2003 (In Russian).

14. TCP 45-3. 02-290-2013. Public buildings and structures. Building design standards. Minsk, 2013 (In Russian).

15. TCP 45-3. 02-240-2010. Buildings and premises of retail trade objects. Minsk, 2014 (In Russian).

Информация об авторах

Евсеева Ольга Петровна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры ландшафтного проектирования и садово-паркового строительства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова 13а, Республика Беларусь). E-mail: Ol-evseeva@mail.ru

Шумская Полина Валентиновна – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова 13а, Республика Беларусь). E-mail: pollytoter@yandex.by

Information about the authors

Evseeva Olga Petrovna – PhD Pedagogical, Associate Professor, the Department of Landscape Design and Landscape Construction. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: Ol-evseeva@mail.ru

Shumskaya Polina Valentinovna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: pollytoter@yandex.by

Поступила 20.03.2021

УДК 630*443.3:630*182.21

А. А. Сазонов[1,2]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]РУП «Белгослес»

13-ЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ ДУБРАВЫ В ПОЙМЕ РЕКИ БЕРЕЗИНЫ

На основании 13-летнего мониторинга на постоянной пробной площади описываются патологические и лесообразовательные процессы, происходящие в пойменной дубраве. Наблюдения характеризуют состояние дубового биогеоценоза на этапе восстановления после депрессии 2003–2008 гг. В послестрессовый период доминируют возбудители стволовых гнилей, поражающие деревья в сильной степени, и поперечный рак дуба, поражающий дубовый древостой в средней степени. Острых патологических процессов в насаждении не выявлено. Показано, что болезни и вредители леса в период депрессии выступают катализаторами сукцессионных изменений. Восстановление экосистемы пойменного леса происходит за счет формирования второго яруса древостоя из подроста, образующегося как под пологом леса, так и на прогалинах, оставшихся вследствие усыхания и вырубки дубов. При наличии семенного возобновления дуб не присутствует в составе второго яруса. Делается предположение, что сукцессионные процессы, происходящие на пробной площади, характерны для суходольных дубрав. В условиях нарастающей сухости климата здесь может сформироваться сложное насаждение с доминированием теневыносливых лиственных пород и единичными старыми дубами, возвышающимися над пологом леса.

Ключевые слова: Quercus robur L., пойменная дубрава, массовое усыхание, стволовые гнили, постоянная пробная площадь, лесопатологический мониторинг.

Для цитирования: Сазонов А. А. 13-летняя динамика состояния дубравы в пойме реки Березины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 128–137.

A. A. Sazonov[1,2]
[1]Belarusian State Technological University
[2]RUE “Belgosles”

13-YEAR-OLD DYNAMICS OF THE STATE OF FLOODPLAIN OAK FORESTS OF THE BEREZINA RIVER

On the basis of 13-year monitoring on a permanent sample area, the pathological and forest-forming processes occurring in the floodplain oak forest are described. Observations characterise the state of the oak ecosystem at the stage of recovery after drying in 2003–2008. In the post-stress period, such chronic diseases dominate as invaders of stem rot, which attack trees to a great extend, and oak cancer, which affects the oak stand to an average degree. Acute pathological processes in the plantings are not revealed. It is shown that diseases and pests of the forest during the period of mass drying act as catalysts for successional changes in the stand. The restoration of the ecosystems of floodplain forests occurs due to the formation of the second tier of the stand of undergrowth, forming both under forest canopy and in the glades that appeared as a result of drying out and cutting down of oaks trees. If there is a natural renewal of oak, it is not present in the second tier. It is assumed that the succession processes occurring on the test area are characteristic for dry oak forests, since they have not been regulated by floods for several decades. In the conditions increasing dryness of the climate, a complex plantation may be formed here with the dominance of shade-tolerant broadleaved species of trees, and individual old oaks rising above the forest canopy.

Key words: Quercus robur L., floodplain oak forest, mass drying, stem rot, permanent sample area, forest pathology monitoring.

For citation: Sazonov A. A. 13-year-old dynamics of the state of floodplain oak forests of the Berezina river. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 128–137 (In Russian).

Введение. Дубравы Беларуси, как и всей Восточной Европы, формируются в условиях периодических массовых усыханий, или «депрессий», как их назвал К. Б. Лосицкий [1]. Последнее подобное событие происходило в 2003–2008 гг. Эта депрессия была, вероятно, самой мощной для Беларуси из всех зафиксированных в литературе случаев массового усыхания и по прогнозным оценкам вызвала сокращение площади дубрав республики на 3,0 тыс. га и запаса дуба в составе твердолиственных насаждений – на 1,5 млн м^3 [2, 3].

Особой частью лесного фонда республики являются пойменные дубравы, которые фактически

представляют собой отдельную интразональную формацию [4, 5]. Именно они в большей степени подвержены патологическим процессам, что делает задачу их сохранения особенно сложной [6, 7].

Известно, что в исторический период исчезло более 90% всех пойменных лесов Европы, а оставшиеся сохранились в Центральной и Восточной Европе и часто имеют критическое состояние, страдая от засух и антропогенной нагрузки [8, 9]. В пойменных условиях, кроме обычных факторов, воздействующих на состояние лесных экосистем, добавляются особый гидрологический режим поймы, его антропогенная регуляция, повышенная активность вредных организмов, а также особые условия ведения лесного хозяйства, часто ограничивающие возможности лесоводов по проведению необходимых лесохозяйственных и лесозащитных мероприятий [10, 11]. По сообщениям многих авторов [12–15], пойменные леса нуждаются в особом режиме ведения лесного хозяйства. Пока остается не до конца выясненным вопрос, как происходит их восстановление после депрессии 2003–2008 гг. Требует уточнения роль патологических факторов в динамике состояния пойменных дубрав Беларуси. Сукцессионные процессы в дубравах речных долин могут быть весьма разнообразны, поэтому представляет интерес прогноз их дальнейшего состояния [8, 10, 16]. Поиску ответов на эти вопросы могут помочь данные, получаемые в ходе лесопатологического мониторинга на стационарных лесоводственных объектах, расположенных в пойменных дубравах.

Основная часть. Для оценки динамики состояния пойменных дубрав, изучения влияния патологических и лесообразовательных процессов на состав и структуру дубовых насаждений специалистами РУП «Белгослес» в Искровском лесничестве Светлогорского лесхоза (Гомельская область) в кв. 54 выд. 25 (лесоустройство 2011 г.) в насаждении с нарушенной устойчивостью и куртинно-групповым усыханием главной породы 25.06.2006 г. заложена постоянная пробная площадь (рис. 1, 2).

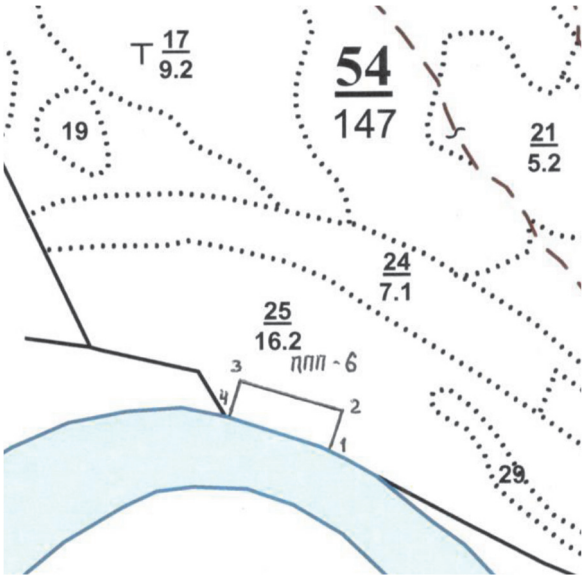


Рис. 1. Месторасположение пробной площади на планшете

По состоянию на 2019 г. она имеет следующие географические координаты (нумерация углов соответствует рис. 2): **1** – N 52º 41.151', E 29º 40.909'; **2** – N 52º 41.183', E 29º 40.929'; **3** – N 52º 41.212', E 29º 40.805'; **4** – N 52º 41.181', E 29º 40.788'.

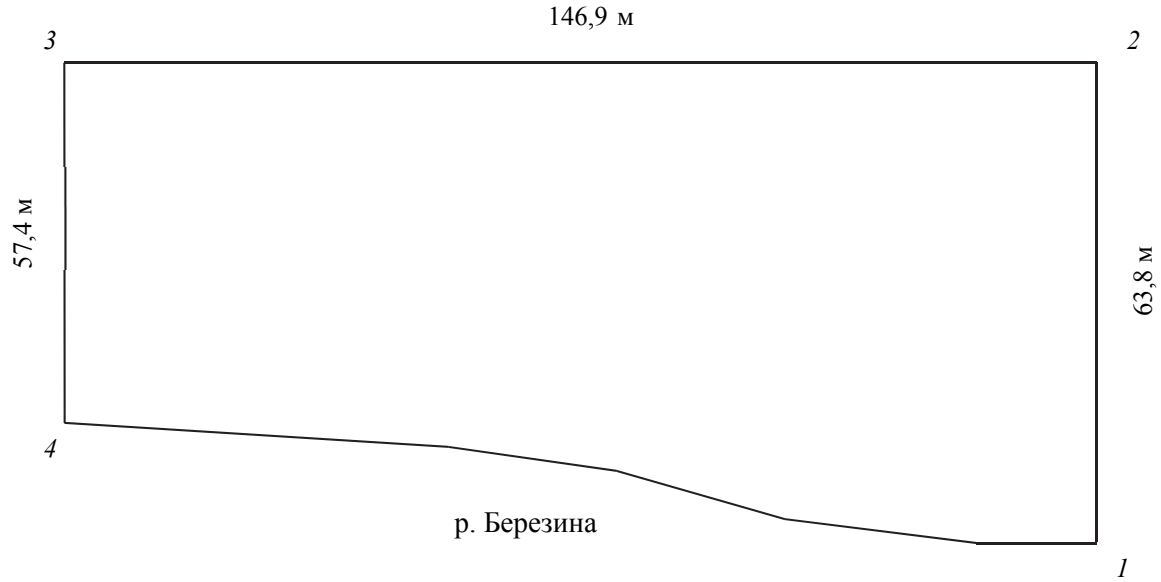


Рис. 2. Схема постоянной пробной площади по состоянию на 2019 г.

Рис. 3. Общий вид насаждения на пробной площади из точки 1 (19.09.2019)

Характеристика насаждения на момент закладки: дубрава естественного происхождения, состав – 10Д, возраст 137 лет, тип леса – дубрава прируслово-пойменная, IV бонитета (по таксационному описанию – злаково-пойменная, что не соответствует местоположению и бонитету). Местоположение: прирусловая пойма, на берегу р. Березины, рельеф ровный с западинами. В подросте клен, дуб, осина располагаются неравномерно. Подлесок редкий, представлен крушиной, рябиной, бузиной. В составе напочвенного покрова осоки, злаки. К моменту закладки пробной площади в насаждении уже накопилось существенное количество мертвой древесины – 46,2 м^3/га, которая преимущественно (на 89%) была представлена старым сухостоем. Объем валежа составлял всего 1,2 м^3/га. Активная фаза усыхания к 2006 г. уже завершилась, поскольку размер текущего отпада составлял всего 4,0 м^3/га. Средневзвешенная категория состояния по запасу составила 3,3, а по числу стволов 3,5, что соответствует «сильно ослабленному» древостою [17]. В 2008, 2014 и 2019 гг. на пробной площади выполнялись повторные перечеты, их результаты представлены в таблице.

Динамика лесоводственных показателей. В 2012 г. на выделе, в том числе и на пробной площади, была проведена выборочная санитарная рубка. Количество деревьев главной породы на пробе снизилось с 99 (2006 г.) до 39 шт. (2019 г.) за счет вырубки и других причин. Кроме того, из-за русловых процессов р. Березина подмывает берег в месте закладки пробной площади и часть деревьев теряет опору из-за осыпания и уноса грунта рекой (рис. 3), поэтому площадь пробы постепенно сокращается, а некоторые деревья падают в реку. В течение 2006–2019 гг. из-за рубки, усыхания, русловых процессов и естественного роста и развития древостоя поменялся состав первого яруса с 10Д + С, Ос, Б до 8Д1С1Ос + Б, Кл.

Относительная полнота снизилась с 0,38 до 0,30. Запас первого яруса повышался до 2008 г., достигнув 112 м^3/га, а затем стал снижаться. Санитарное состояние древостоя улучшилось за счет проведения выборочной санитарной рубки в 2012 г., что подтверждается изменением средневзвешенной категории состояния дуба по количеству стволов с 3,5 (сильно ослабленное, 2008 г.) на 2,3 (ослабленное, 2019 г.), и по запасу с 3,3 на 2,1 (аналогично). В процессе выборочной санитарной рубки был вырублен сухостой, частично удалены захламленность и сильно ослабленные деревья, в результате количество мертвой древесины сократилось с 54,7 м^3/га в 2008 г. до 3,1 м^3/га в 2014 г. В процессе рубки могло быть заготовлено до 51,6 м^3/га дубовой древесины, т. е. около ⅓ исходного объема древесины на этом участке.

В 2019 г. для дуба был рассчитан индекс жизненного состояния (ИЖС), который составил 61,2%, и показатель поврежденности древостоя (ППД) – 38,8% [17]. По данным показателям можно охарактеризовать состояние дубового древостоя: ИЖС – ослабленное; ППД – поврежденное.

Динамика лесоводственной и лесопатологической характеристик насаждения

Параметры	Ед. измерения	Значения			
Год исследования		2006	2008	2014	2019
Площадь пробной площади	га	0,98	0,98	0,94	0,89
Кол-во деревьев дуба 1-го яруса	шт./пп.	99	95	44	39
В т. ч. жизнеспособных 1-го яруса	шт./пп.	64	59	44	37
1-й ярус					
Состав	ед.	10Д + С, Ос, Б	9Д1Ос + С, Б, Кл	8Д1С1Ос + Б, Кл	8Д1С1Ос + Б, Кл
Возраст	лет	137	139	145	150
Высота	м	20,0	20,9	21,8	22,4
Диаметр	см	44,0	44,2	46,6	52,2
Бонитет	–	IV	IV	IV	IV
Тип леса	–	Д. пр.-пм.	Д. пр.-пм.	Д. пр.-пм.	Д. пр.-пм.
Абсолютная полнота	$м^2$/га	11,8	10,9	10,0	10,4
Относительная полнота	–	0,38	0,32	0,29	0,30
Запас живых деревьев	$м^3$/га	106	112	110	101
Количество живых деревьев	шт./пп.	82	77	66	50
2-й ярус					
Состав	ед.	3Д3Ос3Лп1Б	3Кл3Лп2Ос2Б	4Кл4Лп2Б	3Кл3Лп2Ос1Б1С
Возраст	лет	40	40	45	50
Высота	м	12,0	12,5	13,5	15,1
Диаметр	см	20,0	14,1	15,7	14,3
Абсолютная полнота	$м^2$/га	0,9	1,3	1,8	3,7
Относительная полнота	–	0,04	0,05	0,06	0,12
Запас живых деревьев	$м^3$/га	5	9	12	20
Количество живых деревьев	шт./пп.	41	81	86	150
Подрост					
Состав	ед.			7Д1Кл1Ос1Олч	3Д3Бр1Я1Кл1Ос1С
Количество	шт./га			2700	3800
Лесопатологическая характеристика					
Класс биологической устойчивости		II	II	II	II
Средневзвешенная категория состояния по числу стволов		3,5	3,6	2,0	2,3
Средневзвешенная категория состояния по запасу		3,3	3,4	2,0	2,1
Текущий отпад	$м^3$/га	4,0	2,8	0	4,1
Старый сухостой	$м^3$/га	41,0	48,7	1,4	3,7
Ликвидная захламленность	$м^3$/га	1,2	3,2	1,7	–
Общий объем мертвой древесины	$м^3$/га	46,2	54,7	3,1	7,8
Болезни и повреждения					
Стволовая гниль	%	33,3	45,0	32,4	39,0
Ложный дубовый трутовик	%	15,6	26,6	6,3	19,6
Инфекционное усыхание ветвей	%	23,8	25,6	40,9	14,6
Поперечный рак	%	11,0	13,6	23,9	17,0
Морозные трещины	%	3,1	3,4	6,5	–
Механические повреждения	%	3,1	3,4	2,2	–
Армилляриозная гниль	%	34,3	7,6	–	2,3
Бактериальная водянка	%	2,7	15,3	–	7,4
Заселено ксилофагами	%	4,6	5,2	–	10,2
Отработано ксилофагами	%	33,0	36,5	–	7,7
Объедание листогрызущими	%	–	–	10	–

Мы попытались проследить судьбу каждого дерева дуба 1-го яруса по данным перечетов на пробной площади за анализируемый период. Общее количество дубов за это время сократилось на 60 шт. (рис. 4, 5).

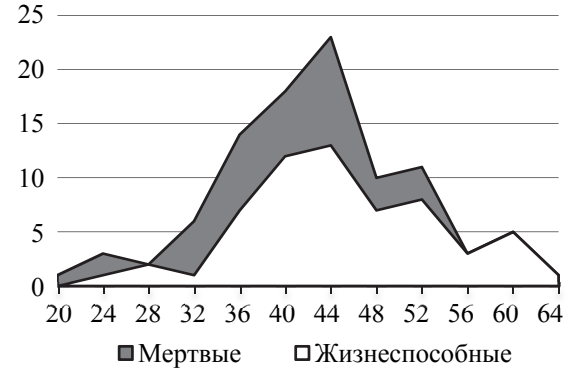


Рис. 4. Размерная структура дубового древостоя по состоянию на 2008 г. (количество деревьев, шт.)

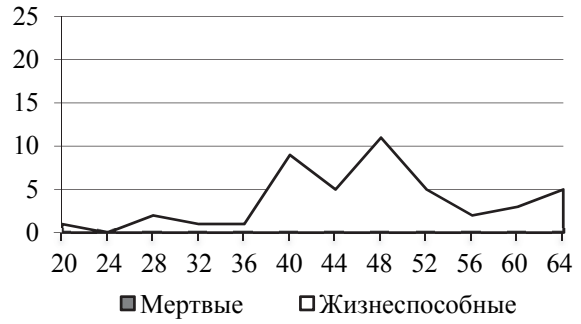


Рис. 5. Размерная структура дубового древостоя по состоянию на 2014 г. (количество деревьев, шт.)

Главной причиной убыли деревьев была выборочная санитарная рубка, в процессе которой удалили 49 дубов. В их число попали все сухостойные деревья (34 шт.), буреломные и валежные (3 шт.), а также часть сильно ослабленных деревьев (12 шт.). И хотя за время с 2008 (последний перечет перед рубкой) по 2012 г. часть из них могла перейти в категорию сухостоя, скорее всего в процессе рубки удалялись и некоторые жизнеспособные деревья из числа «сильно ослабленных». Это оказало влияние на параметры пораженности древостоя стволовыми гнилями и армилляриозной гнилью. Кроме этого, 7 деревьев унесла река, после рубки было повреждено ветром еще 3 дерева, а одно отставшее в росте перешло во 2-й ярус. В результате количество жизнеспособных дубов 1-го яруса сократилось за 13 лет с 64 до 37 шт. Далее подробнее охарактеризуем основные патологии дуба на пробной площади и их динамику.

Стволовые гнили. Насаждение на пробной площади является очагом стволовых гнилей и поражено дереворазрушающими грибами-биотрофами в сильной степени. За 2006–2008 гг. доля пораженных деревьев выросла с 48,9 до 71,6%. Такой рост за короткий срок может объясняться лучшим выявлением признаков гнили при повторном перечете. Проведение выборочной санитарной рубки позволило снизить пораженность гнилями с 71,6 до 38,9% в 2014 г., но за последующие 5 лет доля пораженных дубов возросла до 58,6%. Таким образом, возбудители стволовых гнилей проявляют себя как типичные патогены, формирующие хронические очаги длительного действия в спелых и перестойных пойменных дубравах, в которых доля пораженных гнилями деревьев может колебаться в довольно широких пределах. При этом процесс гнилевого поражения в пойменной дубраве достаточно динамичен. Выборочные санитарные рубки могут частично снизить степень поражения древостоя гнилями за счет удаления некоторых пораженных деревьев, но из-за существующего запрета на вырубку усыхающих и сильно ослабленных деревьев в пойменных дубравах оздоровительный эффект рубок невелик [18]. Кроме того, доля пораженных деревьев слишком большая, поэтому их вырубка привела бы к окончательному разрушению дубового древостоя. Специализированным возбудителем стволовых гнилей в насаждении является ложный дубовый трутовик – *Phellinus robustus* (Karst.) Bourd. et Galz., поражение которым по внешним признакам отмечено в 2006 г. у 6,3% деревьев, и резко возросло к 2019 г. – до 19,6%. Доля ложного дубового трутовика в общем объеме гнилевого поражения, если принимать этот объем за 100%, составляет от 16,2% в 2014 до 37,1% в 2008 г. Фактическое поражение данным патогеном может быть выше, но по данным некоторых авторов [19, 20], болезнь редко протекает скрыто и легко обнаруживается на растущих деревьях. Поэтому, хотя и не всегда, на пораженных деревьях формируются плодовые тела и характерные язвы, по которым можно определить видовую принадлежность возбудителя заболевания. В целом можно полагать, что визуальная оценка при перечете дает достаточно точную характеристику пораженности древостоя ложным дубовым трутовиком.

Усыхание ветвей. Инфекционное усыхание ветвей, вызываемое различными повреждениями проводящих тканей, выявлено изначально (2006 г.) у 23,8% деревьев. Через два года оно отмечено у 25,6% дубов (средняя степень поражения). После проведения рубки в 2014 г. перечет показал наличие этой патологии у 40,9% дубов. Но в 2019 г. уровень поражения составил уже 14,6%. По литературным данным известно, что в условиях Воронежской области (южная лесостепь) после дефолиации и частичного усыхания кроны восстановление ветвей у дуба занимает

не менее 6 лет [21]. Возможно, восстановление крон после депрессии начала XXI в. на пробной площади к 2014 г. еще не завершилось. А в 2019 г. этот процесс зашел значительно дальше. Если принять гипотезу о более длительном процессе восстановления крон в спелых пойменных дубравах, тогда это может объяснить более высокий уровень проявления усыхания ветвей в 2014 г. Для уточнения этого предположения необходимы дальнейшие наблюдения за состоянием древостоя.

Поперечный рак. Доля деревьев, пораженных поперечным раком, среди дубов возрастала с 2006 по 2014 г. от 11,0 до 23,9%. Достигнув максимума в 2014 г., далее пораженность этим заболеванием снизилась в 2019 г. до 17,0%. Это может быть вызвано гибелью части пораженных деревьев в результате русловых процессов, а также зарастанием раковых ран и исчезновением внешних признаков этого заболевания со временем. Тем не менее степень поражения дубравы данным заболеванием не выходит в своих колебаниях за пределы «средней».

Морозные трещины и механические повреждения. Морозные трещины встречались на дубах в количестве от 3,1% в 2006 до 6,5% в 2014 г. Затем к 2019 г. они исчезают из перечета. Механические повреждения ствола выявлены в небольшом количестве – от 3,1% в 2006 до максимума в 2008 г. – 3,4%. Далее в 2014 г. их доля сокращается до 2,2%, что говорит о практическом отсутствии повреждения стволов во время проведения выборочной санитарной рубки в 2012 г. К 2019 г. деревья с признаками механических повреждений стволов исчезают из перечета. Таким образом, морозные трещины не оказывают заметного отрицательного влияния на состояние древостоя и зарастают со временем, исчезая из перечета в 2019 г. Механические повреждения могут как зарастать, так и трансформироваться в сухобочины, поврежденные стволовыми гнилями и усачами.

Корневые гнили. Армилляриозная гниль корней дуба развивалась на сухостойных и жизнеспособных дубах II–VI категорий санитарного состояния в 2006–2008 гг., в период депрессии дубовых насаждений. Доля пораженных деревьев в 2006 г. составляла 34,3% от общего количества дубов. После вырубки сухостоя в 2012 г. поражение живых деревьев дуба корневыми гнилями на пробной площади не отмечается.

Бактериальная водянка. Поражение стволов бактериальными инфекциями, которое выявляется по выделению экссудата, засохшим черным пятнам в трещинах коры и мокрым участкам некрозов лубяной части коры, испытывает значительные колебания по годам. В 2006 г. поражение отмечалось всего у 2,6% дубов, но через два года увеличилось до 15,3%. В 2014 г. поражения бактериальной водянкой не выявлено, но в 2019 г. зафиксировано 7,4% деревьев с признаками данного заболевания. Таким образом, этот патологический фактор часто присутствует в древостое, вызывая ослабление отдельных деревьев.

Стволовые вредители. Динамика повреждения древостоя стволовыми вредителями указывает на почти постоянное присутствие их на отдельных деревьях. Так, в 2006 г. доля повреждаемых ими деревьев составила 4,6%, к 2008 г. она возросла до 5,2%, а в 2014 г. после проведения выборочной санитарной рубки воздействия стволовых вредителей на древостой не зафиксировано. Но к 2019 г. в насаждении снова накопилось определенное количество ослабленных деревьев, главным образом от воздействия стволовых гнилей, и доля заселенных деревьев составила уже 10,2%. Не все из них были заселены агрессивными видами ксилофагов. Из имеющихся трех заселенных деревьев два были заселены только усачами, обитающими на сухостое, а одно – двупятнистой узкотелой златкой (*Agrilus biguttatus* F.) и усачами. Повреждение златкой составило только 2,6% от числа дубов, поэтому насаждение на пробной площади не является очагом агрессивных стволовых вредителей дуба. Златки и усачи лишь используют ослабленные и усыхающие деревья как места переживания неблагоприятных для них условий в период восстановления дубрав. До проведения выборочной санитарной рубки на пробной площади имелось большое количество отработанных стволовыми вредителями деревьев – 33,0% в 2006, и 36,5% в 2008 г. Но после проведения рубки этих деревьев не осталось.

К 2019 г., через 7 лет после рубки, в насаждении появилось 7,7% отработанных деревьев дуба, что свидетельствует о вялотекущих процессах ослабления древостоя различными биотическими факторами.

Листогрызущие вредители. Повреждения листвы филлофагами при проведении перечетов не выявлено, за исключением 2014 г., когда среднее повреждение листового полога насекомыми составило около 10%.

Динамика 2-го яруса. Частичное усыхание дубового древостоя привело к освобождению территории от затенения и стимулировало интенсивное развитие 2-го яруса. За прошедшие 13 лет наблюдений состав 2-го яруса претерпел существенные изменения. Изначально в 2006 г. он имел состав 3Д3Ос3Лп1Б (40 лет), высотой 12 м и диаметром 20 см, насчитывая на пробной площади 41 дерево с объемом 5 $м^3$/га. Этот 2-й ярус был в значительной степени унаследован от предыдущего состояния древостоя, когда полнота

1-го яруса была выше, и затенение препятствовало формированию подроста. Затем на пробной площади во 2-м ярусе стали доминировать теневыносливые виды, врастающие в этот ярус из подроста, и состав древостоя за два года изменился до 3Кл3Лп2Ос2Б + Д, С (40 лет), высотой 12,5 м и диаметром 14,1 см, количество деревьев на пробной площади увеличилось до 81, а их запас до 9 м^3/га. Проведение выборочной санитарной рубки не оказало заметного отрицательного влияния на состояние 2-го яруса, и к 2014 г. он имел состав 4Кл4Лп2Б + Д, С (45 лет), высотой 13,5 м и диаметром 15,7 см, с количеством деревьев 86 шт. на пробной площади и запасом 15 м^3/га. Дальнейшее развитие лесовосстановительных процессов привело к увеличению числа деревьев в составе 2-го яруса, росту его запаса и видового разнообразия. Так, к 2019 г. сформировался состав 3Кл3Лп2Ос1Б1С + Д, Я, Олч, Ивд (50 лет), высотой 15,1 м и диаметром 14,3 см, в количестве 150 деревьев на пробной площади и запасом 20 м^3/га.

Процесс пополнения 2-го яруса за счет подроста продолжается, поэтому, несмотря на прошедшие 13 лет, средний возраст 2-го яруса изменился в меньшей степени, чем прошло лет с момента первого перечета. То же относится к высоте и диаметру. Теневыносливые клен и липа сохраняют устойчивое господство, а встречающийся в подросте берест (*Ulmus minor* Mill.) не может выйти из подроста во 2-й ярус по причине поражения голландской болезнью, очаг которой действует в хроническом виде на протяжении всего периода наблюдений. Берест постепенно выпадает из состава подроста, так и не успев достигнуть необходимой высоты для вхождения во 2-й ярус, что стимулирует развитие клена остролистного и создает условия для его доминирования в будущем древостое.

Подрост. Из-за малочисленности подрост при первых двух перечетах не учитывался. Частичное усыхание деревьев 1-го яруса и их вырубка при проведении выборочной санитарной рубки посодействовали интенсивному развитию подроста за счет повышения интенсивности светового потока, достигающего поверхности почвы. В 2014 г. на пробной площади было учтено в переводе на условно средний подрост 7Д1Кл1Ос1Олч (2,7 тыс. шт./га). Через 5 лет количество подроста увеличилось. В 2019 г. учтено в переводе на условно средний 3Д3Бр1Я1Кл1Ос1С (3,8 тыс. шт./га). Площадки по учету подроста закладывались вдоль визиров с трех сторон (со стороны реки не закладывались), через равные расстояния, по пять площадок на каждой стороне, всего 15 площадок прямоугольной формы размером 4×5 м каждая. Общая площадь обследования подроста составила 300 м^2. Особенностью возобновления является то, что при наличии дуба в составе подроста (в мелком подросте дуб доминирует) он практически не выходит во 2-й ярус. Уже в составе крупного подроста дуб встречается очень редко. В то же время клен выживает и является наиболее перспективной древесной породой для данного участка. Липа возобновилась в насаждении ранее, еще до первого перечета, и сейчас поддерживает свое участие в составе 2-го яруса не путем семенного возобновления, а порослью от материнских деревьев, которые в результате формируют «кусты возобновления», быстро выходя во 2-й ярус и выдерживая, таким образом, конкуренцию с кленом за пространство. На прогалинах, которые образовались после усыхания и вырубки дубов и еще не успели зарасти, успешно возобновляются светолюбивые сосна, береза и осина.

Заключение. На пробной площади 1-й ярус уже достиг возраста спелого древостоя для пойменной дубравы (150 лет), и в дальнейшем логично ожидать продолжения его постепенного распада. За 2006–2019 гг. острых патологических процессов в дубраве не зафиксировано, но во время последней депрессии начала XXI в. около ⅓ запаса дубового древостоя перешло в мертвый лес. Наблюдения показывают, что в дальнейшем можно ожидать прогрессирования хронических заболеваний и увеличения степени поражения дубового древостоя стволовыми гнилями. Периодически может повторяться объедание дубов листогрызущими насекомыми. Но после сильного изреживания древостоя в результате усыхания и рубки процесс накопления сухостойных деревьев проходит медленными темпами. Ожидается, что разрушение дубового древостоя может растянуться на десятилетия, если не будет осложнено новым циклом массового усыхания.

Кроме того, развитие русловых процессов будет приводить к постепенному размыву левого берега р. Березины и поглощению части территории пробной площади рекой. Например, за 2006–2019 гг. уже произошло уменьшение площади с 0,98 до 0,89 га.

Гибель значительного количества деревьев дуба и их вырубка способствовали освобождению пространства под пологом леса, что стимулировало естественное возобновление. На пробной площади идет интенсивный процесс формирования нового поколения леса – 2-го яруса и подроста из широкого спектра древесных видов. В перспективе здесь может сформироваться сложное разновозрастное насаждение с единичными дубами, господствующими над основным пологом древостоя, и теневыносливыми кленом и липой в 1-м ярусе, с некоторой примесью

мягколиственных пород. Участие дуба в новом поколении леса, вероятно, будет исключено по причине высокой конкуренции со стороны других древесных пород. Сукцессионные процессы, происходящие на пробной площади, характерны для суходольных дубрав, в которых в процессе развития происходит постепенное вытеснение дуба из древостоя его спутниками [4, 22, 23, 24]. Подобное явление последние годы стало наблюдаться и в некоторых лесах речных долин, например в пойменных дубравах Хорватии [9]. Причиной этому, по мнению ряда авторов, служит реакция лесных экосистем на повышение температуры, снижение количества осадков и уровня воды в реках в меженный период, а также сокращение частоты и интенсивности паводков [7, 9].

Аналогичную ситуацию мы наблюдаем и на пробной площади. Судя по составу подроста и 2-го яруса, сукцессионные процессы на повышенных элементах рельефа прирусловой поймы, на которой расположено исследуемое насаждение, уже, возможно, несколько десятков лет не регулируются половодьями. Поэтому там успешно возобновляются спутники дуба, вытесняя естественное возобновление главной породы. А болезни и вредители леса, ускоряя гибель дубов, особенно в период депрессии, выступают катализаторами сукцессионных процессов в дубовом древостое.

Автор выражает искреннюю признательность специалистам РУП «Белгослес», участвовавшим в разное время в проведении работ на пробной площади.

Список литературы

1. Лосицкий К. Б. Явления депрессии в твердолиственных лесах // Лесное хозяйство. 1975. № 12. С. 40–44.

2. Сазонов А. А. Оценка последствий массового усыхания дубовых лесов Беларуси 2003–2008 гг. // Труды БГТУ. Сер. I: Лесное хозяйство. 2009. Вып. XVII. С. 304–307.

3. Федоров Н. И., Сазонов А. А. Оценка последствий массового усыхания дубрав Беларуси // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: сб. материалов VII Междунар. конф., г. Пермь, 7–13 сент. 2009 г. Пермь: Перм. гос. пед. ун-т, 2009. С. 194–197.

4. Лосицкий К. Б. Восстановление дубрав. М.: Изд-во с-хоз. литературы, журналов и плакатов, 1963. 359 с.

5. Экосистемы Теллермановского леса / отв. ред. В. В. Осипов. М.: Наука, 2004. 340 с.

6. Потапенко А. М. Пойменные дубравы Национального парка «Припятский»: типологическая структура, состояние, динамика и прогноз // Лесная типология: современные методы выделения типов леса, классификация и районирование лесной растительности: материалы Междунар. науч. семинара, Минск – Нарочь, 20–21 окт. 2016 г. Минск: Колоград, 2016. С. 218–223.

7. Stojanović D. B., Levanič, T., Matović B. et al. Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. Eur. J. Forest Res. 2015. Vol. 134. P. 555–567. DOI.org/10.1007/s10342-015-0871-5.

8. Затопляемый лес: Руководство по восстановлению пойменных лесов для лиц, определяющих политику и менеджеров рек в Европе / Edited by Francine Hughes. The FLOBAR2 Project, Cambridge: University of Cambridge, 2003. 90 p.

9. Mikac S., Žmegač A., Trlin D. И Drought-induced shift in tree response to climate in floodplain forests of Southeastern Europe. Scientific Reports. 2018. Vol. 8. Article number: 16495. DOI:10.1038/s41598-018-34875-w.

10. Углянец А. В. Усыхание пойменных лесов Припяти: его причины и последствия // Лесное и охотничье хозяйство. 2006. № 3. С. 20–25.

11. Гримашевич В. В., Маховик И. В., Левенкова О. В. Пойменные дубравы Республики Беларусь и их состояние // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2007. Вып. 67. С. 37–49.

12. Гельтман В. С., Моисеенко И. Ф. Пойменные леса Припяти и их трансформация в связи с мелиорацией. Минск: Навука і тэхніка, 1990. 118 с.

13. Ткач В. П. Пойменные дубравы Украины и совершенствование хозяйствования в их // Дуб – порода третьего тысячелетия: сб. науч. тр. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 1998. Вып. 48. С. 361–366.

14. Калиниченко Н. П., Румянцева С. А. Пойменные дубравы // Дуб – порода третьего тысячелетия: сб. науч. тр. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 1998. Вып. 48. С. 366–369.

15. Гримашевич В. В. Проблемы воспроизводства пойменных дубрав Беларуси // Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов в системе устойчивого развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 5–7 сент. 2007 г. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2007. С. 155–159.

16. Водные ресурсы Национального парка «Припятский», их влияние на состояние лесных экосистем / А. В. Углянец [и др.]; под общ. ред. Г. И. Марцинкевич. Минск: БГПУ, 2007. 163 с.

17. Защита леса / В. Б. Звягинцев [и др.]. Минск: БГТУ, 2019. 164 с.

18. Об утверждении Санитарных правил в лесах Республики Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016, № 79 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2016. 8/31603.

19. Вакин А. Т. Фитопатологическое состояние дубрав Теллермановского леса // Труды Института леса АН СССР. 1954. Т. XVI. С. 5–109.

20. Харченко Н. А., Харченко Н. Н. Санитарное состояние дубрав как показатель их деградации // Деградация дубрав Центрального Черноземья. Воронеж: ГОУ ВПО «ВГЛТА», 2010. С. 360–499.

21. Ильюшенко А. Ф., Романовский М. Г. Формирование вторичной кроны дуба и ее роль в динамике состояния древостоев // Лесоведение. 2000. № 3. С. 65–72.

22. Матвеев С. М., Мельников Е. Е. Сукцессионные процессы и их направленность в дубравах Центрального Черноземья // Деградация дубрав Центрального Черноземья. Воронеж: ГОУ ВПО «ВГЛТА», 2010. С. 500–602.

23. Чеботарёв П. А., Чеботарёва В. В., Стороженко В. Г. Структура и состояние древостоев в дубравах Теллермановского опытного лесничества // Лесоведение. 2016. № 5. С. 375–382.

24. Потапенко А. М., Гримашевич В. В. Естественное возобновление плакорных дубрав Беларуси: состояние и перспективы // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2010. Вып. 70. С. 88–97.

References

1. Lositskiy K. B. Depression phenomena in hardwood forests. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1975, no. 12, pp. 40–44 (In Russian).

2. Sazonov A. A. Assessment of the consequences of mass drying out of oak forests in Belarus in 2003–2008. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 304–307 (In Russian).

3. Fedorov N. I., Sazonov A. A. Assessment of the consequences of mass drying out of oak forests in Belarus. *Sb. materialov. VII Mezhdunar. konf. "Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii"*. [Collection of articles. mater. VII Int. conf. "Problems of forest phytopathology and mycology"]. Perm', 2009, pp. 194–197 (In Russian).

4. Lositskiy K. B. *Vosstanovleniye dubrav* [Restoration of oak forests]. Moscow, Izd-vo sel'khoz. literatury, zhurnalov i plakatov Publ., 1963. 359 p.

5. *Ekosistemy Tellermanovskogo lesa* [Ecosystems of the Tellerman forest] / ed. V. V. Osipov. Moscow, Nauka Publ., 2004. 340 p.

6. Potapenko A. M. Floodplain oak forests of the Pripyatsky National Park: typological structure, state, dynamics and forecast. *Materialy. Mezhdunar. nauch. seminara "Lesnaya tipologiya: sovremennyye metody vydeleniya tipov lesa, klassifikatsiya i rayonirovaniye lesnoy rastitel'nosti"* [Materials Int. scientific seminar "Forest typology: modern methods for identifying forest types, classification and regionalization of forest vegetation"]. Minsk, 2016, pp. 218–223 (In Russian).

7. Stojanović D. B., Levanič, T., Matović B. et al. Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. *Eur. J. Forest Res*., 2015, vol. 134, pp. 555–567. DOI.org/10.1007/s10342-015-0871-5.

8. The Flooded Forest: Guidance for policy makers and river managers in Europe on the restoration of floodplain forests. Edited by Francine Hughes. *The FLOBAR2 Project*, Cambridge, University of Cambridge, 2003. 90 p.

9. Mikac S., Žmegač A., Trlin D. et al. Drought-induced shift in tree response to climate in floodplain forests of Southeastern Europe. *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, Article number: 16495. DOI:10.1038/s41598-018-34875-w.

10. Uglyanets A. V. Drying of the floodplain forests of Pripyat: its causes and consequences. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2006, no. 3, pp. 20–25 (In Russian).

11. Grimashevich V. V., Makhovik I. V., Levenkova O. V. Floodplain oak forests of the Republic of Belarus and their condition. *Sbornik nauchnykh trudov "Problemy lesovedeniya i lesovodstva"* [Collection of scientific papers "Problems of forest science and forestry"], 2007, issue 67, pp. 37–49 (In Russian).

12. Gel'tman V. S., Moiseenko I. F. *Poymennyye lesa Pripyati i ikh transformatsiya v svyazi s melioratsiyey* [Floodplain forests of Pripyat and their transformation due to land reclamation]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1990. 118 p.

13. Tkach V. P. Floodplain oak forests of Ukraine and improvement of management in their. *Sbornik nauchnykh trudov "Problemy lesovedeniya i lesovodstva"* [Collection of scientific papers "Problems of forest science and forestry"], 1998, issue 48, pp. 361–366 (In Russian).

14. Kalinichenko N. P., Rumyantseva S. A. Floodplain oak forests. *Sbornik nauchnykh trudov "Problemy lesovedeniya i lesovodstva"* [Collection of scientific papers "Problems of forest science and forestry"], 1998, issue 48, pp. 366–369 (In Russian).

15. Grimashevich V. V. Reproduction problems of floodplain oak forests in Belarus. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Ratsional'noye ispol'zovaniye i vosproizvodstvo lesnykh resursov v sisteme ustoychivogo razvitiya"* [Mater. Int. scientific-practical conf. "Rational use and reproduction of forest resources in the system of sustainable development"]. Gomel', 2007, pp. 155–159 (In Russian).

16. Uglyanets A. V., Vlasov B. P., Khmelevskiy V. I., Rudakovskiy I. A., Gigevich G. S., Arkhipenko T. V., Chekan G. S. *Vodnyye resursy Natsional'nogo parka "Pripyatskiy", ikh vliyaniye na sostoyaniye lesnykh ekosistem* [Water resources of the National park "Pripyatsky", their influence on a forest ecosystems condition]. Minsk, BGPU Publ., 2007. 163 p.

17. Zvyagintsev V. B., Blintsov A. I., Kozel A. V., Kukhta V. N., Sazonov A. A., Seredich M. O., Khvasko A. V. *Zashchita lesa* [Forest protection]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 164 p.

18. On approval of Sanitary forest regulations in the Republic of Belarus: decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, December 19, 2016, no. 79. *Natsional'nyy reestr pravovykh aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2016. 8/31584.

19. Vakin A. T. Phytopathological state of oak forests of Tellermanovsky forest. *Trudy Instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of the Institute of Forestry of the USSR Academy of Sciences], 1954, issue XVI, pp. 5–109 (In Russian).

20. Kharchenko N. A., Kharchenko N. N. Sanitary condition of oak forests as an indicator of their degradation. *Degradatsiya dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Degradation of oak forests of the Central Chernozem region]. Voronezh, GOU VPO "VGLTA" Publ., 2010, pp. 360–499 (In Russian).

21. Il'yushenko A. F., Romanovskiy M. G. Formation of the secondary oak crown and its role in the dynamics of the state of forest stands. *Lesovedeniye* [Forestry], 2000, no. 3, pp. 65–72 (In Russian).

22. Matveev S. M., Mel'nikov E. E. Successional processes and their direction in oak forests of the Central Chernozem region. *Degradatsiya dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Degradation of oak forests of the Central Chernozem region]. Voronezh, GOU VPO "VGLTA" Publ., 2010, pp. 500–602 (In Russian).

23. Chebotarev P. A., Chebotareva V. V., Storozhenko V. G. The structure and condition of forest stands in the oak forests of the Tellermanovsky experimental forestry. *Lesovedeniye* [Forestry], 2016, no. 5, pp. 375–382 (In Russian).

24. Potapenko A.M., Grimashevich V.V. Natural renewal of dry oak forests in Belarus: state and prospects. *Sbornik nauchnykh trudov "Problemy lesovedeniya i lesovodstva"* [Collection of scientific papers "Problems of forest science and forestry"], 2010, issue 70, pp. 88–97 (In Russian).

Информация об авторе

Сазонов Александр Александрович – старший преподаватель кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). Начальник лесоустроительной партии 1-й Минской лесоустроительной экспедиции РУП «Белгослес» (220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 27, Республика Беларусь). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

Information about the author

Sazonov Aleksandr Aleksandrovich – Senior Lecturer, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). Head of 1 Minsk Forest Inventory Expedition. RUE "Belgosles" (27, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

Поступила 10.02.2021

УДК 595.7(476)

Ф. В. Сауткин
Белорусский государственный университет

ЧЛЕНИСТОНОГИЕ ФИТОФАГИ – ВРЕДИТЕЛИ РОБИНИЙ (*ROBINIA* S. L.) В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

В результате многолетних (полевые сезоны 2009–2020 гг.) обследований в условиях зеленых насаждений на территории всех 5 районов интродукции древесно-кустарниковых растений в Беларуси установлен таксономический состав и структура комплекса членистоногих фитофагов вредителей робиний (Fabaceae: *Robinia* spp.). К настоящему времени комплекс включает как минимум 11 видов членистоногих. В таксономическую структуру комплекса наибольший вклад вносят представители отрядов членистохоботных (Insecta: Hemiptera) и чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) насекомых, на долю которых приходится 36,36 и 27,27% от общего числа видов, соответственно. Основу устойчивого комплекса (ядро) составляют, по меньшей мере 6 чужеродных видов насекомых североамериканского происхождения: люцерновая (*Aphis craccivora* Koch, 1854) и белоакациевая листовая (*Appendiseta robiniae* (Gillette, 1907)) тли, белоакациевые нижнесторонняя (*Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859)) и верхнесторонняя (*Parectopa robiniella* Clemens, 1863)) моли-пестрянки, белоакациевый голенастый пилильщик (*Nematus tibialis* Newman, 1837), белоакациевая листовая галлица (*Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847)). Из них 4 вида (*A. craccivora*, *M. robiniella, O. robiniae, P. robiniella*) в условиях Беларуси относятся к числу наиболее вредоносных.

Ключевые слова: членистоногие, фитофаги, чужеродные инвазивные виды, зеленые насаждения, интродуцированные древесные растения, белая акация, Fabaceae.

Для цитирования: Сауткин Ф. В. Членистоногие фитофаги – вредители робиний (*Robinia* S. L.) в условиях Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 138–148.

F. V. Sautkin
Belarusian State University

ARTHROPODOUS PHYTOPHAGES – PESTS OF ROBINIA TREES (*ROBINIA* S. L.) UNDER CONDITIONS OF BELARUS

During the years 2009–2020 we investigated the complex of phytophagous arthropods of robinia trees (Fabaceae: *Robinia* spp.) under conditions of green stands on the territory of all 5 regions of introduction of woody and shrubby plants in Belarus. The complex includes 11 species of arthropods. The major contribution to the taxonomic structure of the complex is made by representatives of hemipterous (Insecta: Hemiptera) and lepidopterous (Insecta: Lepidoptera) insects – 36.36% and 27.27% of the total number of species, respectively. The basis of the stable complex (core) includes at least 6 North American species of insects, alien for the fauna of Belarus: cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch, 1854), black locust aphid (*Appendiseta robiniae* (Gillette, 1907)), black locust blotch leafminer moth (*Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859)), locust digitate leafminer moth (*Parectopa robiniella* Clemens, 1863)), false acacia sawfly (*Nematus tibialis* Newman, 1837), black locust gall midge (*Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847)). Four of them (*A. craccivora*, *M. robiniella*, *O. robiniae*, *P. robiniella*) were classified as the most harmful phytophages of false acacia trees under the conditions of Belarus.

Key words: arthropods, phytophages, alien invasive species, green spaces, introduced woody plants, false acacia trees, Fabaceae.

For citation: Sautkin F. V. Arthropodous phytophages – pests of robinia trees (*Robinia* s. l.) under conditions of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 138–148 (In Russian).

Введение. Ботанический род *Robinia* L. объединяет около 20 видов древесных и кустарниковых растений, естественно произрастающих в широколиственных лесах Северной и Центральной Америки [1–4]. На территорию Европы эти растения впервые были завезены в начале XVII в. [1, 4, 5]. Считается, что в Беларусь растения рода *Robinia* были интродуцированы в конце сороковых годов XX в. [1, 4]. К настоящему времени в условиях страны интродукционные испытания

прошли 4 вида робиний и ряд высокодекоративных культигенных форм [1, 6]. Наиболее широкое применение в практике озеленения городских населенных пунктов страны получила робиния обыкновенная, или белая акация (*Robinia pseudoacacia* L.). Несколько реже в зеленых насаждениях Беларуси встречаются робиния клейкая, или железистоопушенная (*Robinia viscosa* Vent.), новомексиканская (*Robinia neomexicana* Gray.) и пышная (*Robinia luxurians* (Dieck.) C. K. Schneid.) [7].

В культуре робинии ценятся как красивоцветущие, неприхотливые к условиям произрастания, засухоустойчивые растения. В Беларуси робинии первоначально использовали для укрепления откосов железнодорожных насыпей, склонов, оврагов и карьеров. Позже их стали применять для обсадки улиц и дорог, в садах, парках, в аллейных и одиночных посадках. Растения хорошо переносят стрижку, что делает их привлекательными для использования в топиарном искусстве и построения живых изгородей. Можно отметить, что за рубежом семена *R. pseudoacacia* используются для изготовления заменителей кофе, а из листьев получают голубую краску (индиго). Цветки перерабатываются для получения используемых в парфюмерии эфирных масел. Древесина обладает характеристиками, делающими ее пригодной для дальнейшей переработки. Кроме того, следует отметить лекарственные свойства, а также значение робиний в качестве медоносов [1, 4, 6].

Робинии, особенно *R. pseudoacacia*, легко проникают в лесные массивы, осваивают песчаные пустоши, постоянно расширяя местопроизрастания. Таким образом, *R. pseudoacacia* представляет опасность для нативных растительных сообществ региона. В связи с этим многие исследователи относят робинию обыкновенную к группе наиболее опасных чужеродных инвазивных видов растений [8–10] в Беларуси, в том числе [5, 11]. Однако в условиях декоративных зеленых насаждений белая акация (*Robinia* spp.) по-прежнему рассматривается в качестве ценной декоративной древесной породы [12].

Долгое время на территории Европы не регистрировались специализированные фитофаги – вредители робиний (*Robinia* spp.). Однако в конце XX в. в странах Западной Европы было отмечено проникновение и стремительное расселение ряда североамериканских фитофагов – вредителей робиний [13–26].

До настоящего времени целенаправленных комплексных исследований фитофагов робиний в условиях Беларуси не проводилось. В качестве вредителей белой акации ранее были известны лишь 2 чужеродных для региональной фауны вида насекомых – люцерновая тля (*Aphis craccivora* Koch, 1854) [27] и впервые зарегистрированная в 2009 г. белоакациевая листовая галлица (*Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847)) [28]. Сведения о других представителях комплекса фитофагов робиний (*Robinia* S. L.), отмеченных нами по результатам оригинальных исследований в условиях зеленых насаждений Беларуси, до настоящей сводки приводились лишь в ряде разрозненных публикаций [29–41].

Основная часть. Результаты многолетних оригинальных (2009–2020 гг.) исследований таксономического состава и встречаемости отдельных представителей комплекса членистоногих – фитофагов растений рода *Robinia* в условиях декоративных зеленых насаждений (преимущественно, населенных пунктов) на территории всех 5 районов интродукции древесных растений в Беларуси в значительной степени расширяют региональный список фитофагов робиний, представленный в табл. 1.

На основе установленного таксономического состава комплекса членистоногих – фитофагов робиний (*Robinia* spp.) представляется возможным констатировать, что в структуре такового (рис. 1) преобладают представители равнокрылых членистохоботных насекомых (Insecta: Hemiptera: Sternorrhyncha) – 36,36% (Aphididae – 18,18%; Diaspididae и Coccidae по 9,09%).

Второй по значимости вклад в видовое богатство комплекса вносят представители чешуекрылых насекомых (Insecta: Lepidoptera) – 27,27% (Gracillariidae – 18,18%; Noctuidae – 9,09%). Равный долевой вклад (по 9,09%) вносят представители отрядов перепончатокрылых (Insecta: Hymenoptera), двукрылых (Insecta: Hymenoptera) и жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) насекомых, а также акариформных клещей (Acari: Acariformes) (рис. 1).

Бóльшая часть фитофагов (6 видов, 54,54% общего видового богатства), входящих в состав рассматриваемого комплекса (табл. 1) и составляющих его ядро (рис. 2), являются чужеродными для фауны Беларуси инвазивными видами североамериканского происхождения. Из числа составляющих ядро комплекса фитофагов 4 вида (*A. craccivora* [34, 37–39], *O. robiniae* [33, 37, 39], *P. robiniella* [29, 31, 33, 35, 37, 39, 40] и *M. robiniella* [29, 30, 32, 33, 35, 37, 39, 40]) по результатам проведенных исследований включены в список наиболее опасных инвазивных видов животных Беларуси (Черная книга инвазивных видов животных Беларуси, 2020) [41].

Краткое описание особенностей вредоносности, входящих в состав комплекса фитофагов, целесообразно дать в форме аннотированного списка.

Таблица 1

Таксономический состав и краткая характеристика членистоногих – фитофагов робиний (*Robinia* spp.) в условиях зеленых насаждений Беларуси

Фитофаг	Характеристика трофической специализации	Встречаемость в условиях районов интродукции древесных растений Беларуси				
		I	II	III	IV	V
		Северный	Западный	Северно-Центральный	Южно-Центральный	Южный
Класс Arachnida – Паукообразные Подкласс Acari – Клещи Отряд Acariformes – Акариформные клещи Семейство Tetranychidae – Паутинные клещи						
1. *Tetranichus urticae* Koch, 1836	Полифаг	+	+	+	+	+
Надкласс Insecta – Насекомые Отряд Hemiptera – Членистохоботные Семейство Diaspididae – Щитовки						
2. *Lepidosaphes ulmi* (Linnaeus, 1758)	Полифаг	+	+	+	+	+
Семейство Coccidae – Ложнощитовки						
3. *Parthenolecanium corni* (Bouche, 1844)	Полифаг	+	+	+	+	+
Семейство Aphididae – Настоящие тли						
4. *Aphis craccivora* Koch, 1854	Олигофаг	+++	+++	+++	+++	+++
5. *Appendiseta robiniae* (Gillette, 1907)	Монофаг	–	+++	++	++	++
Отряд Coleoptera – Жесткокрылые Семейство Curculionidae – Долгоносики						
6. *Sitona lineatus* (Linnaeus, 1758)	Полифаг	+	++	++	++	++
Отряд Lepidoptera – Чешуекрылые Семейство Gracillariidae – Моли-пестрянки						
7. *Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859)	Монофаг	+	+++	++	+++	+++
8. *Parectopa robiniella* Clemens, 1863	Монофаг	–	++	++	+++	+++
Семейство Notodontidae – Хохлатки						
9. *Phalera bucephala* (Linnaeus, 1758)	Полифаг	+	+	+	+	+
Отряд Hymenoptera – Перепончатокрылые Семейство Tenthredinidae – Настоящие пилильщики						
10. *Nematus tibialis* Newman, 1837	Олигофаг	+	++	++	++	++
Отряд Diptera – Двукрылые Семейство Cecidomyiidae – Галлицы						
11. *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847)	Монофаг	+++	+++	+++	+++	+++

Примечание. Встречаемость: + – низкая; ++ – средняя; +++ – высокая.

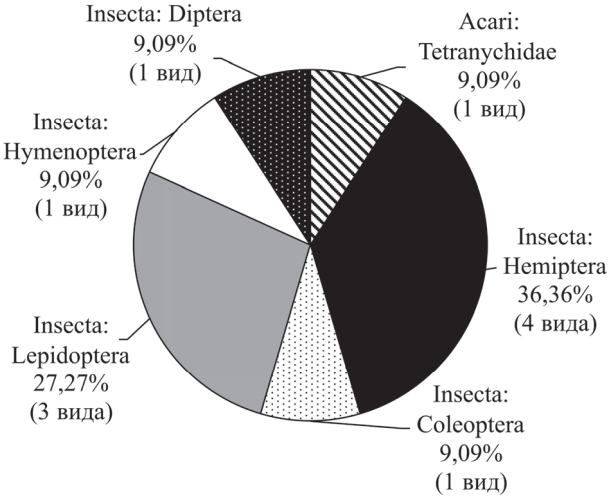
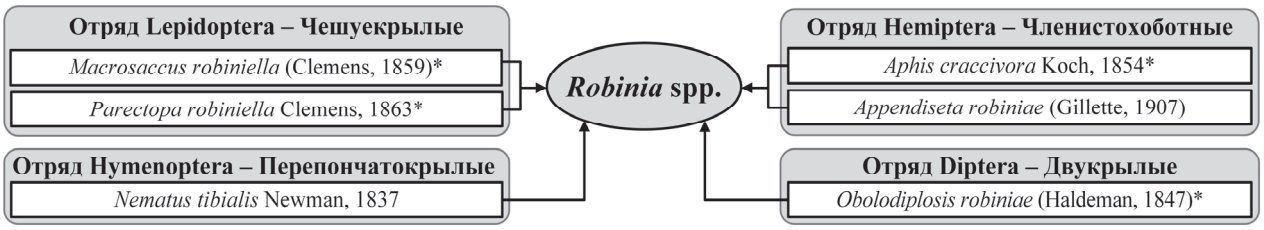


Рис. 1. Таксономическая структура комплекса членистоногих – фитофагов робиний (*Robinia* spp.) в условиях зеленых насаждений Беларуси

Обыкновенный паутинный клещ (*Tetranichus urticae* Koch, 1836). Имаго и личинки, питаясь на листовых пластинках (чаще на нижней стороне) робиний, высасывают содержимое клеток, последние заполняются воздухом и приобретают характерный контрастирующий с нативной окраской неповрежденных участков серебристый отлив. В случаях массового заселения растений-хозяев на листовых пластинках со временем проявляется характерный хлоротичный рисунок.

Щитовка запятовидная яблонная (*Lepidosaphes ulmi* (Linnaeus, 1758)). Питающиеся самки вызывают усыхание заселенных ветвей, замедление роста и искривление молодых побегов, а также неполное распускание листовых пластинок. В случаях массового развития наиболее ощутимый вред, вплоть до элиминирования, наносят молодым, неокрепшим экземплярам растений-хозяев.



* *Чужеродные инвазивные виды, занесенные в Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси* [41]

Рис. 2. Ядро устойчивого комплекса членистоногих – фитофагов робиний (*Robinia* spp.) в условиях зеленых насаждений Беларуси

Ложнощитовка акациевая (*Parthenolecanium corni* (Bouche, 1844)). При массовом размножении сильно угнетает молодые экземпляры заселяемых растений: ветви и побеги усыхают, ухудшается цветение, снижаются декоративность и морозостойкость. Повторяющееся на протяжении нескольких вегетационных сезонов сильное заселение ложнощитовками не набравших силу молодых экземпляров может иметь следствием их преждевременное усыхание (выпадение).

Люцерновая тля (*Aphis craccivora* Koch, 1854). Черные тли крупными колониями заселяют побеги, листовые пластинки, соцветия и бобы робиний (рис. 3). Интенсивно заселенные тлями молодые неодревеснев шие побеги испытывают сильное угнетение и отстают в росте. В случаях массового развития может наблюдаться генерализованное замедление или приостановка роста растения. Вспышки массового размножения в условиях зеленых насаждений Беларуси не регулярны. Провоцирующим фактором является неправильная или несвоевременная обрезка растений либо стрижка живых изгородей.

Рис. 3. Молодой побег робинии обыкновенной (*Robinia pseudoacacia* L.), заселенный агрегациями люцерновой тли (*Aphis craccivora* Koch, 1854)

Белоакациевая листовая тля (*Appendiseta robiniae* (Gillette, 1907)). Тли желтовато-зеленого цвета небольшими агрегациями или поодиночке питаются на листовых пластинках (обыкновенно на нижней стороне) робиний. В случаях массового размножения наблюдается хлоротизация заселенных листовых пластинок (рис. 4).

Рис. 4. Агрегация белоакациевой тли (*Appendiseta robiniae* (Gillette, 1907) на нижней стороне хлоротизированного листочка робинии (*Robinia* spp.)

Полосатый клубеньковый долгоносик (*Sitona lineatus* (Linnaeus, 1758)). Жуки коричневого цвета с продольными желтоватыми полосами, размером 3–5 мм, выгрызают отдельные бухточки или серии городчатых обгрызаний с краев листовых пластинок. Наиболее интенсивно обгрызают листовые пластинки молодых экземпляров робиний и прикорневой поросли. У сформировавшихся, взрослых растений изредка повреждают листовые пластинки на высоте до 1,5 м от поверхности почвы.

Белоакациевая нижнесторонняя мольпестрянка (*Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859)). Гусеницы выгрызают нижнесторонние (крайне редко – верхнесторонние) пятновидные, никогда не пересекающие центральную жилку мины, овальной конфигурации. Поздние мины проявляются на верхней стороне листовых пластинок в виде контрастирующих хлоротичных пятен. Листочки в умеренной степени могут деформироваться за счет усыхания и стягивания выстилающего мину нижнего эпидермиса (рис. 5).

Белоакациевая верхнесторонняя мольпестрянка (*Parectopa robiniella* Clemens, 1863). Гусеницы минируют листовые пластинки. Ранние мины небольших размеров, нижнесторонние, субэпидермальные. Поздние – верхнесторонние, крупные, звездчатой конфигурации, светло- или темно-коричневого цвета (рис. 6).

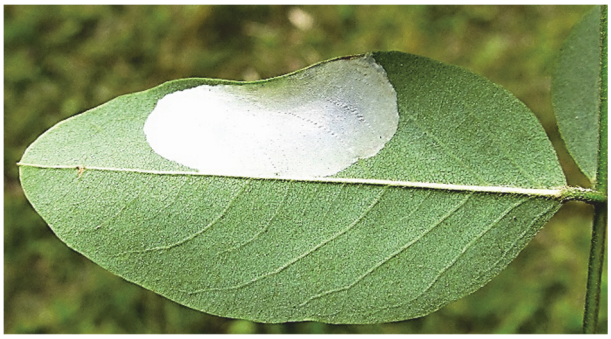


Рис. 5. Нижняя сторона листочка робинии (*Robinia* sp.), минированного гусеницей белоакациевой нижнесторонней моли-пестрянки (*Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859))

Лунка серебристая (*Phalera bucephala* (Linnaeus, 1758)). Крупные, черные гусеницы с 10 продольными тонкими, прерывистыми полосами желтого цвета и 11 оранжевыми поперечными кольцами, питаются агрегациями на протяжении всех возрастов, в исключительных случаях – поодиночке. В редких случаях массового развития могут полностью объедать целые ветви растений.

Рис. 6. Верхняя сторона листочка робинии (*Robinia* sp.), минированного белоакациевой верхнесторонней молью-пестрянкой (*Parectopa robiniella* Clemens, 1863)

Белоакациевый голенастый пилильщик (*Nematus tibialis* Newman, 1837). Ложногусеницы младших возрастов перфорируют листочки сложных листовых пластинок в полях между жилками (рис. 7). Обычно питаются коллективно (2–20 ложногусениц на 1 листочек). На старших возрастах питаются поодиночке – объедают листочки с краев, реже обгрызают их до черешков.

Белоакациевая листовая галлица (*Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847)). Личинки развиваются внутри гофрированных или более-менее гладких валиков, образуемых в результате заворачивания краев отдельных листочков на нижнюю сторону (рис. 8). Поздние галлы имеют красную окраску, отмершие – буро-коричневую.

Рис. 7. Ложногусеница белоакациевого голенастого пилильщика (*Nematus tibialis* Newman, 1837) в процессе питания тканями листовой пластинки робинии обыкновенной (*Robinia pseudoacacia* L.)

Совокупная характеристика вредоспособности и вредоносности членистоногих-фитофагов – вредителей робиний в условиях зеленых насаждений Беларуси представлена в табл. 2. Отнесение фитофага к той или иной категории вредоносности основано на обработке массивов первичных данных, накопленных за 2009–2020 гг. На их основе были установлены усредненные показатели встречаемости, рассчитаны средние показатели фактической заселенности и поврежденности обследованных в условиях разного типа зеленых насаждений Беларуси экземпляров растений ботанического рода *Robinia*. Для визуальной оценки показателей заселенности и поврежденности обследуемых экземпляров робиний вредителями применяли градационную шкалу, разработанную А. И. Блинцовым [42].

Рис. 8. Листочки сложной листовой пластинки робинии обыкновенной (*Robinia pseudoacacia* L.) с ранними галлами белоакациевой листовой галлицы (*Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847))

Как следует из данных табл. 2, к числу высоковредоносных форм фитофагов, развивающихся на робиниях (*Robinia* spp.) в условиях зеленых насаждений Беларуси, представляется возможным отнести 4 вида: люцерновую тлю (*A. craccivora*), белоакациевую листовую галлицу (*O. robiniae*), нижнестороннюю (*M. robiniella*) и верхнестороннюю (*P. robiniella*) молей-пестрянок. К числу вредоносных и потенциально вредоносных видов

отнесено 2 (*A. robiniae*, *N. tibialis*) и 4 вида (*L. ulmi, P. corni, Ph. bucephala, T. urticae*), соответственно (табл. 2). К числу хозяйственно-индифферентных видов отнесен единственный представитель комплекса – полосатый клубеньковый долгоносик (*S. lineatus*).

Таксономический состав комплекса фитофагов робиний в его современном состоянии наглядно демонстрирует необходимость постоянного энтомофитосанитарного мониторинга используемых в практике зеленого строительства Беларуси древесно-кустарниковых растений-интродуцентов на предмет своевременного выявления проникших и активно расселяющихся на территории стран Европы чужеродных инвазивных растительноядных членистоногих животных, происходящих из отдаленных регионов Земного шара. Кроме того, специфика таксономического состава комплекса фитофагов робиний (*Robinia* spp.), статусов отдельных представителей в составе региональной энтомофауны, особенностей распространенности и вредоносности (табл. 1, 2) последних в условиях Беларуси наглядно демонстрирует необходимость познания данных характеристик для успешной с точки зрения временно́го и экономического факторов оптимизации структуры зеленых насаждений страны.

К примеру, начиная с 2010 г., крупномерные, в частности штамбовые формы робиний, стали широко использоваться хозяйственно-комунальными службами ряда населенных пунктов страны в качестве альтернативы популярному в условиях зеленых насаждений Беларуси конскому каштану обыкновенному (*Aesculus hippocastanum* L.). Основной причиной этому стало повсеместное ухудшение общего состояния насаждений *A. Hippocastanum*, выражающееся в снижении показателей их жизненности и, как следствие, снижении устойчивости к факторам антропогенной природы, что не могло не отразиться негативным образом и на их декоративно-эстетической ценности. Во многом данное положение дел связано с завершившимся к настоящему времени процессом расселения по территории Беларуси высоковредоносного специализированного фитофага *A. hippocastanum* – каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka, Dimič, 1986) [41, 43].

Таблица 2

Характеристика вредоспособности и вредоносности членистоногих фитофагов – вредителей робиний (*Robinia* spp.) в условиях зеленых насаждений Беларуси

Вредитель	Вредоспособность	Группа вредоносности	Средний уровень заселенности растений, балл	Средний уровень поврежденности растений, балл	Максимальный уровень поврежденности растений, балл	Вредящая стадия	Тип повреждений
1. *Tetranichus urticae*	++	III	0,4	0,4	1,0	L, N, I	ХЛП
2. *Lepidosaphes ulmi*	++	III	0,5	0,5	1,0	L, N, I	НПРР
3. *Parthenolecanium corni*	++	III	0,5	0,5	1,0	L, N, I	НПРР
4. *Aphis craccivora*	++	I	2,5	1,9	3,0	L, N, I	НПРР
5. *Appendiseta robiniae*	++	II	2,1	1,3	2,0	L, N, I	ХЛП НПРР
6. *Phalera bucephala*	++	III	0,3	0,5	1,0	L	ГОЛП
7. *Macrosaccus robiniella*	+++	I	2,5	2,8	4,0	L	МЛП
8. *Parectopa robiniella*	+++	I	2,2	2,5	4,0	L	МЛП
9. *Sitona lineatus*	+	IV	0,6	0,6	1,0	I	ФОЛП
10. *Nematus tibialis*	++	II	1,7	1,6	2,0	L	ПЛП КОЛП ГОЛП
11. *Obolodiplosis robiniae*	+++	I	2,8	2,7	4,0	L	ФГ

Примечание. Вредоспособность: + – низкая; ++ – умеренная; +++ – высокая. Группа вредоносности: I – высоковредоносные виды членистоногих фитофагов; II – вредоносные виды членистоногих фитофагов; III – потенциально-вредоносные виды членистоногих фитофагов; IV – хозяйственно-индифферентные виды членистоногих фитофагов. Вредящая стадия: I – имаго; L – личинка; N – нимфа. Тип повреждения: ХЛП – хлоротизация листовых пластинок; НПРР – нарушение процессов роста и развития; МЛП – минирование листовых пластинок; ГОЛП – грубое обгрызание листовых пластинок; КОЛП – краевое объедание листовых пластинок; ФОЛП – фигурные объедания (выедания) листовых пластинок; ПЛП – перфорирование листовых пластинок; ФГ – формирование галлов (галлообразование и тератогенез).

Наиболее наглядно тенденция компенсационной замены элиминированных крупномерных экземпляров конского каштана посадками карликовых штамбовых форм робиний заметна на примере происходящих изменений в структуре зеленых насаждений г. Гомеля. В частности, особенно часто средствами массовой информации на протяжении последнего десятилетия освещается ситуация столь радикальной замены ослабленных и погибших экземпляров *A. Hippocastanum*, формирующих одну из наиболее значимых в структуре зеленых насаждений г. Гомеля аллею по ул. Советской [44]. Принятие решений о взаимозаменимости вышеобозначенных декоративных культур очевидным образом базировалось на показателях устойчивости последних к условиям городской среды, а также болезням и вредителям, позволяющих ранжировать их и выявить наиболее устойчивые и подходящие по ряду других параметров альтернативы. Однако отсутствие актуальных сведений по составу комплекса и вредоносности фитофагов робиний привело к реализации не вполне научно обоснованного и экономически нецелесообразного в долгосрочной перспективе решения. Наблюдаемое до настоящего времени распространение на территории Беларуси целого комплекса высоковредоносных узкоспециализированных фитофагов робиний (*Robinia* spp.) с высокой вероятностью приведет к последствиям, по масштабам превосходящим таковые для конских каштанов.

Заключение. Представляется возможным подытожить, что к настоящему времени комплекс фитофагов робиний (*Robinia* spp.) в условиях декоративных зеленых насаждений Беларуси включает как минимум 11 видов членистоногих. В таксономическую структуру комплекса наибольший вклад вносят представители отрядов членистохоботных (Insecta: Hemiptera) и чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) насекомых, на долю которых приходится 36,36% и 27,27% от общего числа видов, соответственно. Основу устойчивого комплекса (ядро) составляют по меньшей мере 6 видов насекомых североамериканского происхождения, 4 из которых включены в список наиболее опасных инвазивных видов животных Беларуси [41].

Список литературы

1. Чаховский А. А., Шкутко Н. В. Декоративная дендрология Белоруссии. Минск: Ураджай, 1979. 216 с.

2. Little E. L., Viereck L. A. Atlas of United States trees. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1971–1981. 6 vol.

3. Clone of Digital Representations of Tree Species Range Maps from Atlas of United States Trees by Elbert L. Little, Jr. (and other publications). URL: https://github.com/wpetry/USTreeAtlas (дата обращения: 29.02.2021).

4. Интродуцированные деревья и кустарники в Белорусской ССР: в 3 т. / Академия наук Белорусской ССР, Институт биологии; под. ред. Н. Д. Нестеровича. Минск: Издательство Академии наук БССР, 1959–1961. Т. 2 : Интродуцированные древесные растения флоры Северной Америки / А. Ф. Иванов [и др.]. 1960. 297 с.

5. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.]; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского. Минск: Беларуская навука, 2020. 407 с.

6. Древесные растения Центрального ботанического сада АН БССР / Е. З. Бобореко [и др.]; под ред. Н. Д. Нестеровича. Минск: Наука и техника, 1982. 293 с.

7. Гаранович И. М. Декоративное садоводство: справочное пособие. Минск: Тэхналогія, 2005. 348 с.

8. Hulme P. E. Handbook of alien species in Europe. Dordrecht, London: Springer, 2008. 399 p.

9. San-Miguel-Ayanz J. European atlas of forest tree species. Luxembourg: European Union, 2016. 197 p.

10. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe / M. Vítková [et al.] // Forest Ecology and Management. 2017. Vol. 384. P. 287–302.

11. Растения-агрессоры: инвазионные виды на территории Беларуси / Д. В. Дубовик [и др.]. Минск: Беларуская энцыклапедыя, 2017. 192 с.

12. Тимофеева В. А., Головченко Л. А., Пантелеев С. В. Рак ствола и ветвей робинии лжеакации в посадках городских насаждений Беларуси // Состояние и перспективы развития зеленого строительства в Республике Беларусь: тезисы Республиканского научно-практического семинара, г. Минск, 26–27 апр. 2018 г. С. 179–182.

13. Polaszek A., Cotman H. E. An aphid new to Europe from *Robinia pseudoacacia* L. in London // Entomol. Mon. Mag. 1983. No. 119. P. 251–252.

14. Borowiak-Sobkowiak B., Durak R., Wilkaniez B. *Appendiseta robiniae* (Gilette), 1907 (Hemiptera, Aphidoidea) – an aphids species new to Poland // Polish Journal of Entomology (Polskie Pismo Entomologiczne). 2008. Vol. 77, no. 1. P. 5–9.

15. Whitebread S. E. *Phyllonorycter robiniella* (Clemens,1859) in Europe (Lepidoptera, Gracillariidae) // Nota Lepidopterologica. 1989. No. 12. P. 344–353.

16. Šefrová H. Invasions of Lithocolletinae species in Europe – Causes, kinds, limits and ecological impact (Lepidoptera, Gracillariidae) // Ekologia Bratislava. 2003. Vol. 22, no. 2. P. 112–142.

17. Šefrová H. *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) – egg, larva, bionomics and it's spread in Europe (Lepidoptera, Gracillariidae) // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2002. No. 3. P. 7–12.

18. Ivinskis P., Rimšaitė J. Records of *Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859) and *Parectopa robiniella* Clemens, 1863 (Lepidoptera, Gracillariidae) in Lithuania // Acta zoologica Lituanica. 2008. Vol. 18, no. 2. P. 130–133.

19. Davis D. R., Prins de J. Systematics and biology of the new genus *Macrosaccus* with descriptions of two new species (Lepidoptera, Gracillariidae) // ZooKeys. 2011. No. 98. P. 29–82.

20. Vidano C. Foglioline di *Robinia pseudoacacia* con mine di un Microlepidottero nuovo per l'Italia // L'Apicolture Moderno. 1970. No. 61 (10). P. 1–2.

21. Baugnée J. -Y. *Parectopa robiniella* (Lepidoptera: Gracillariidae), a leafminer of black locust *Robinia pseudoacacia* new to the Belgian fauna // Phegea. 2014. No. 42 (3). P. 55–57.

22. Гниненко Ю. И., Раков А. Г. Белоакациевая паректопа *Parectopa robiniella* Cl. – новый инвазивный фитофаг. Пушкино: ВНИИЛМ, ВПРС МОББ, 2011. 14 с.

23. Gubin A. I., Martynov V. V. The first record of the locust digitate leafminer *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) (Lepidoptera: Gracillariidae) from Georgia // Euroasian entomological journal. 2017. No. 16 (4). P. 304–305.

24. Мартынов В. В., Никулина Т. В. Новые инвазивные насекомые-фитофаги в лесах и искусственных лесонасаждениях Донбасса // Кавказский энтомологический бюллетень. 2016. № 12 (1). С. 41–51.

25. Plant Parasite of Europe (leafminers, galls and fungi). URL: http://www.bladmineerders.nl (дата обращения: 12.01.2021).

26. Global taxonomic database of Gracillariidae (Lepidoptera). URL: http://www.gracillariidae.net (дата обращения: 02.02.2021).

27. Буга С. В. Дендрофильные тли Беларуси. Минск: БГУ, 2001. 98 с.

28. Петров Д. Л. Дендрофильные галлообразующие двукрылые (Insecta: Diptera) фауны Беларуси // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2010. № 1. С. 31–35.

29. Сауткин Ф. В., Евдошенко С. И. Современное распространение в условиях Беларуси инвазивных видов минирующих молей (Lepidoptera: Gracillariidae) – филлофагов-минеров белой акации (*Robinia pseudoacacia*) // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2012. № 1. С. 103–104.

30. Евдошенко С. И., Сауткин Ф. В. Моли-пестрянки (Lepidoptera: Gracillariidae) – вредители декоративных деревьев и кустарников зеленых насаждений Беларуси. В 2 ч. Ч. 1: Подсемейство Lithocolletinae // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага універсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 5, Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. 2012. № 3 (139). С. 128–135.

31. Сауткин Ф. В., Евдошенко С. И. Моли-пестрянки (Lepidoptera: Gracillariidae) – вредители декоративных деревьев и кустарников зеленых насаждений Беларуси. В 2 ч. Ч. 2: Подсемейства Glacillariinae, Orniginae, Phyllocnistinae // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага універсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 5, Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. 2013. № 1 (147). С. 151–159.

32. Сауткин Ф. В., Синчук О. В. Оценка уровня вредоносности *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) вредителя робинии обыкновенной (*Robinia pseudoacacia* L.) в условиях зеленых насаждений разных районов интродукции растений в Беларуси // Труды БГУ. 2014. Т. 9, № 2. С. 110–115.

33. Сауткин Ф. В. Инвазивные виды членистоногих фитофагов-вредителей древесных растений Беларуси // Молодые исследователи регионам: материалы Междунар. науч. конф., Вологда, 21–25 апр. 2014 г. В 3 т. Вологда: ВоГУ, 2014. Т. 2. С. 103–105.

34. Люцерновая тля (*Aphis craccivora* Koch) в зеленых насаждениях Беларуси / Д. Г. Жоров [и др.] // Труды БГУ. 2015. Т. 10, № 1. С. 381–388.

35. Сауткин Ф. В., Синчук О. В., Буга С. В. Современное распространение нижнесторонней белоакациевой моли-пестрянки (*Phyllonorycter robiniella* Clemens, 1895) в условиях Беларуси // Зоологические чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященная памяти профессора Бенедикта Дыбковского, Гродно, 22–24 апр. 2015 г. Гродно: ЮрСаПринт, 2015. С. 228–230.

36. Сауткин Ф. В., Синчук О. В. Современное распространение белоакациевого голенастого пилильщика (*Nematus tibialis* Newman, 1837) на территории Беларуси // XVII Респ. науч.-практ. конф. молодых ученых: материалы Респ. науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 15 мая 2015 г.; под общ. ред. А. Е. Будько. Брест: БРГУ, 2015. Ч. 1. С. 129–131.

37. Фоновые инвазивные виды членистоногих – вредителей древесных растений зеленых насаждений Беларуси / Д. Г. Жоров [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. 2016. № 1. С. 25–34.

38. Жоров Д. Г., Сауткин Ф. В., Буга С. В. Современная структура комплекса чужеродных видов сосущих членистоногих-фитофагов фауны Беларуси // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2016. Т. 60, № 4. С. 88–92.

39. Sinchuk O. V., Sautkin F. V. Invasive species insects on black locust (*Robinia pseudoacacia* L., 1753) in Belarus // Neobiota 2016. Biological Invasions: Interactions with Environmental Change: 9th International Conference on Biological Invasions. Vianden, Luxembourg, 14–16 Sept. 2016. Luxembourg: Fondation faune-flore, 2016. P. 171.

40. Сауткин Ф. В. Статус ранее не регистрировавшихся в составе региональной фауны насекомых-фитофагов – вредителей древесно-кустарниковых растений используемых в зеленом строительстве Беларуси // Итоги и перспективы развития энтомологии в Восточной Европе: сб. статей III Междунар. науч.-практ. конф., посв. памяти В. А. Цинкевича (1971–2018), Минск, 19–21 нояб. 2019 г. Минск: Издатель А. Н. Вараксин, 2019. С. 327–333.

41. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / В. П. Семенченко [и др.]; под общ. ред. В. П. Семенченко, С. В. Буги. Минск: Беларуская навука, 2020. 163 с.

42. Горленко С. В., Блинцов А. И., Панько Н. А. Устойчивость древесных интродуцентов к биотическим факторам. Минск: Наука и техника, 1988. 189 с.

43. Распространение и вредоносность каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deshka, Dimić) в зеленых насаждениях Беларуси / А. С. Рогинский [и др.] // Труды БГУ. 2014. Т. 9, № 2. С. 95–103.

44. Новостной портал Гомельская правда. Режим доступа: https://gp.by/category/novosti/obshchestvo/news18850.html (дата обращения: 17.02.2021).

References

1. Chakhovskiy A. A., Shkutko N. V. *Dekorativnaya dendrologiya Belorussii* [Decorative dendrology of Belarus]. Minsk, Uradzhay Publ., 1979. 216 p.

2. Little E. L., Viereck L. A. *Atlas of United States trees*. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1971–1981. 6 vol.

3. Clone of Digital Representations of Tree Species Range Maps from Atlas of United States Trees by Elbert L. Little, Jr. (and other publications). Available at: https://github.com/wpetry/USTreeAtlas (accessed 29.02.2021).

4. Ponomareva A. V., Nesterovich N. D., Sirotkina R. G., Ivanova E. V., Chekalinskaya N. I., Ivanov A. F., Krasnik A. I., Musiyakina N. F., Smolskaya E. N. *Introdutsirovannyye derev'ya i kustarniki v Belorusskoy SSR. Tom 2: Introdutsirovannyye drevesnyye rasteniya flory Severnoy Ameriki* [Introduced trees and shrubs in the Byelorussian SSR. Vol. 2, Introduced woody plants of the flora of North America]. Minsk, Izdatelstvo Akademii nauk BSSR Publ., 1960. 297 p.

5. Dubovik D. V., Dmitrieva S. A., Laman N. A., Lebedko V. N., Levkovich A. V., Maslovskiy O. M., Parfenov V. I., Prokhorov V. N., Pugachevskiy A. V., Savchuk S. S., Skuratovich A. N., Sysoy I. P., Chumakov L. S., Yakovleva I. M., Garanovich I. M., Dzhus M. A., Romanyuk A. L. *Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodnyye vredonosnyye rasteniya* [The black book of the flora of Belarus: alien invasive plants]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 407 p.

6. Boboreko E. Z., Nesterovich N. D., Orlenok E. I., Chakhovskiy A. A., Shkutko N. V. *Drevesnyye rasteniya Tsentral'nogo botanicheskogo sada AN BSSR* [Woody plants of the Central botanical garden of the Academy of sciences of the BSSR]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 293 p.

7. Garanovich I. M. *Dekorativnoye sadovodstvo* [Ornamental gardening]. Minsk, Tekhnalogiya Publ., 2005. 348 p.

8. Hulme P. E. *Handbook of alien species in Europe*. Dordrecht, London, Springer Publ., 2008. 399 p.

9. San-Miguel-Ayanz J. *European atlas of forest tree species*. Luxembourg, European Union Publ., 2016. 197 p.

10. Vítková M., Müllerová J., Sádlo J., Pergl J., Pyšek P. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 384, pp. 287–302 (In English).

11. Dubovik D. V., Lebedko V. N., Parfenov V. I., Savchuk S. S., Skuratovich A. N. *Rasteniya-agressory: invazionnyye vidy na territorii Belarusi* [The plants – aggressors: invasive species on the territory of Belarus]. Minsk, Belaruskaya entsyklapedyya Publ., 2017. 192 p.

12. Timofeeva V. A., Golovchenko L. A., Panteleev S. V. Steam and branch canker of *Robinia pseudoacacia* in urban plantations of Belarus. *Tezisy Respublikanskogo nauchno-prakticheskogo seminara "Sostoyaniye i perspektivy razvitiyya zelenogo stroitel'stva v Respublike Belarus'"* [Abstracts of the republican scientific and practical seminar "State and prospects for the development of green construction in the Republic of Belarus"]. Minsk, 2018, pp. 179–182 (In Russian).

13. Polaszek A., Cotman H. E. An aphid new to Europe from *Robinia pseudoacacia* L. in London. *Entomol. Mon. Mag.*, 1983, no. 119, pp. 251–252 (In English).

14. Borowiak-Sobkowiak B., Durak R., Wilkaniez B. *Appendiseta robiniae* (Gilette), 1907 (Hemiptera, Aphidoidea) – an aphids species new to Poland. *Polskie Pismo Entomologiczne* [Polish Journal of Entomology], 2008, vol. 77, no. 1, pp. 5–9 (In Polish).

15. Whitebread S. E. *Phyllonorycter robiniella* (Clemens,1859) in Europe (Lepidoptera, Gracillariidae). *Nota Lepidopterologica*, 1989, no. 12, pp. 344–353 (In English).

16. Šefrová H. Invasions of Lithocolletinae species in Europe – Causes, kinds, limits and ecological impact (Lepidoptera, Gracillariidae). *Ekologiya Bratislava*, 2003, vol. 22, no. 2, pp. 112–142 (In Slovak).

17. Šefrová H. *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) – egg, larva, bionomics and it's spread in Europe (Lepidoptera, Gracillariidae). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2002, no. 3, pp. 7–12 (In Slovak).

18. Ivinskis P., Rimšaitė J. Records of *Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859) and *Parectopa robiniella* Clemens, 1863 (Lepidoptera, Gracillariidae) in Lithuania. *Acta zoologica Lituanica*, 2008, vol. 18, no. 2, pp. 130–133 (In Lithuanian).

19. Davis D. R., Prins de J. Systematics and biology of the new genus *Macrosaccus* with descriptions of two new species (Lepidoptera, Gracillariidae). *ZooKeys*, 2011, no. 98, pp. 29–82 (In English).

20. Vidano C. Foglioline di *Robinia pseudoacacia* con mine di un Microlepidottero nuovo per l'+Italia. *L'Apicolture Moderno*, 1970, no. 61 (10), pp. 1–2 (In Italian).

21. Baugnée J. -Y. *Parectopa robiniella* (Lepidoptera: Gracillariidae), a leafminer of black locust *Robinia pseudoacacia* new to the Belgian fauna. *Phegea*, 2014, no. 42 (3), pp. 55–57 (In Belgian).

22. Gninenko Y. I., Rakov A. G. *Beloakatsiyevaya parektopa Parectopa robiniella Cl. – novyy invazivnyy fitofag* [Locust digitate leafminer *Parectopa robiniella* Cl. – a new invasive phytophage]. Pushkino, VNIILM, VPRS MOBB Publ., 2011. 14 p.

23. Gubin A. I., Martynov V. V. The first record of the locust digitate leafminer *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) (Lepidoptera: Gracillariidae) from Georgia. *Euroasian entomological journal*, 2017, no. 16 (4), pp. 304–305 (In English).

24. Martynov V. V., Nikulina T. V. New invasive phytophagous insects in woods and forest plantings of Donbass. *Kavkazskiy entomologicheskiy byulleten* [Caucasian entomological bulletin], 2016, no. 12 (1), pp. 41–51 (In Russian).

25. Plant Parasite of Europe (leafminers, galls and fungi). Available at: http://www.bladmineerders.nl (accessed 12.01.2021).

26. Global taxonomic database of Gracillariidae (Lepidoptera). Available at: http://www.gracillariidae.net (accessed 02.02.2021).

27. Buga S. V. *Dendrofil'nyye tli Belarusi* [Dendrophilous aphids of Belarus]. Minsk, BGU Publ., 2001. 98 p.

28. Petrov D. L. Dendrophilous gall-forming Diptera (Insecta: Diptera) of the fauna of Belarus. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of BSU], series 2, Chemistry, Biology, Geography, 2010, no. 1, pp. 31–35 (In Russian).

29. Sautkin F. V., Evdoshenko S. I. Modern distribution of invasive species of leafminer moths (Lepidoptera: Gracillariidae) – phyllophages of the black locust (*Robinia pseudoacacia*) in the conditions of Belarus. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of BSU], series 2, Chemistry, Biology, Geography, 2012, no. 1, pp. 103–104 (In Russian).

30. Evdoshenko S. I., Sautkin F. V. Leaf-mining moths (Lepidoptera: Gracillariidae) as pests of ornamental trees and shrubs in green stands under the condition of Belarus. Part 1: Subfamily Lithocolletinae. *Vesnik Grodzenskaga dzyarzhaunaga universiteta imya Yanki Kupaly* [Bulletin of Yanka Kupala State University of Grodno], series 5, Economics, Sociology, Biology, 2012, no. 3 (139), pp. 128–135 (In Russian).

31. Sautkin F. V., Evdoshenko S. I. Leaf-mining moths (Lepidoptera: Gracillariidae) as pests of ornamental trees and shrubs in green stands under the condition of Belarus. Part 2: Subfamilies Gracillariinae, Orniginae, Phyllocnistinae. *Vesnik Grodzenskaga dzyarzhaunaga universiteta imya Yanki Kupaly* [Bulletin of Yanka Kupala State University of Grodno], series 5, Economics, Sociology, Biology, 2013, no. 1 (147), pp. 151–159 (In Russian).

32. Sautkin F. V., Sinchuk O. V. Assessment of the harmfulness level of invasive leaf-miner *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) – pest of black locust (*Robinia pseudoacacia* L., 1753) in green

stands of various areas of plants introduction in Belarus. *Trudy BGU* [Proceedings of the Belarusian State University], 2014, vol. 9, no. 2, pp. 110–115 (In Russian).

33. Sautkin F. V. Invasive species of arthropod phytophagous pests of woody plants in Belarus. *Materialy Mezhdunar. nauch. konf. "Molodyye issledovateli regionam"* [Materials of the International scientific conference "Young explorers of the regions"]. Vologda, 2014, pp. 103–105 (In Russian).

34. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Sinchuk A. V., Buga S. V. Black legume aphid (*Aphis craccivora* Koch) in green areas of Belarus. *Trudy BGU* [Proceedings of the Belarusian State University], 2015, vol. 10, no. 1, pp. 381–388 (In Russian).

35. Sautkin F. V., Sinchuk O. V., Buga S. V. The modern distribution of the black locust leaf blotch miner moth (*Phyllonorycter robiniella* Clemens, 1895) in the conditions of Belarus. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy pamyati professora Benedikta Dybkovskogo "Zoologicheskiye chteniya"* [Materials of the international scientific-practical conference dedicated to the memory of Professor Benedict Dybowski "Zoological readings"]. Grodno, 2015, pp. 228–230 (In Russian).

36. Sautkin F. V., Sinchuk O. V. The modern distribution of the false acacia sawfly (*Nematus tibialis* Newman, 1837) on the territory of Belarus. *Materialy Respublikanskoy nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh "XVII Resp. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh"* [Materials of the republican scientific-practical conference of young scientists "17th Republican scientific-practical conference of young scientists"]. Brest, 2015, pp. 129–131 (In Russian).

37. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Sinchuk O. V., Roginsky A. S. Invasive species of arthropod pests of woody plants common under conditions of green stands in Belarus. *Vesnik Brestskaga universiteta* [Bulletin of Brest state university], series 5, Chemistry, Biology, Geology, 2016, no. 1, pp. 25–34 (In Russian).

38. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Buga S. V. Actual structure of the complex of alien species of sucking phytophagous arthropods in the fauna of Belarus. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2016, vol. 60, no. 4, pp. 88–92 (In Russian).

39. Sinchuk O. V., Sautkin F. V. Invasive species insects on black locust (*Robinia pseudoacacia* L., 1753) in Belarus. *Neobiota 2016. Biological Invasions: Interactions with Environmental Change: 9th International Conference on Biological Invasions*. Vianden, Luxembourg, 14–16 Sept. 2016. Luxembourg, Fondation faune-flore, 2016. P. 171 (In English).

40. Sautkin F. V. Status of phytophagous insect species – pests of woody and shrubby plants used in landscaping of Belarus not registered earlier in the regional fauna composition. *Sbornik statey III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy pamyati V. A. Tsinkevicha (1971–2018) "Itogi i perspektivy razvitiya entomologii v Vostochnoy Evrope"* [Collection of articles of the 3rd international scientific-practical conference dedicated to the memory of V. A. Tsinkevich (1971–2018) "Results and prospects for the development of entomology in Eastern Europe"]. Minsk, 2019, pp. 327–333 (In Russian).

41. Semenchenko V. P., Buga S. V., Alechnovich A. V., Barysnikova S. V., Boyko S. V., Borodin O. I., Bubenko A. N., Burko L. D., Bykovskaya A. V., Bychkova E. I., Volosach M. V., Volkevich I. G., Golovchenko L. A., Golunov I. A., Dishuk N. G., Drobenkov S. M., Zhorov D. G., Kozulko N. G., Konopatskaya M. V., Kruglova O. Y., Kulak A. V., Lipinskaya T. P., Makarenko A. I., Petrov D. L., Prischepchik O. V., Rizevskiy V. K., Roginskaya Y. S., Roginsky A. S., Rybkina T. N., Saluk S. V., Sautkin F. V., Semeniak A. A., Sinchuk N. V., Sinchuk O. V., Timofeeva V. A., Trepashko L. I., Chernik M. I., Yakovich M. M., Yanuta G. G. *Chernaya kniga invazivnykh vidov zhivotnykh Belarusi* [Black book of invasive animal species of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 163 p.

42. Gorlenko S. V., Blintsov A. I., Panko N. A. *Ustoychivost' drevesnykh introdutsentov k bioticheskim faktoram* [Resistance of introduced woody plants to biotic factors]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1988. 189 p.

43. Roginsky A. S., Sinchuk A. V., Sautkin F. V., Buga S. V. Geographic distribution and harmfulness of the horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka, Dimič) in green stands of Belarus. *Trudy BGU* [Proceedings of Belarusian State University], 2014, vol. 9, no. 2, pp. 95–103 (In Russian).

44. *Novostnoy portal Gomel'skaya pravda* [News portal Gomelskaya Pravda]. Available at: https://gp.by/category/novosti/obshchestvo/news18850.html (accessed 17.02.2021).

Информация об авторе

Сауткин Федор Викторович – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр. Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: fvsautkin@gmail.com

Information about the author

Sautkin Fiodar Viktorovich – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Zoology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: fvsautkin@gmail.com

Поступила 22.03.2021

УДК 598.293

В. В. Сахвон
Белорусский государственный университет

ВИДОВОЙ СОСТАВ ГОРОДСКИХ ДРЕВЕСНЫХ ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ВЫБОР МЕСТ ДЛЯ ГНЕЗДОВАНИЯ ВРАНОВЫМИ

В статье анализируются особенности выбора мест для гнездования серой вороной (*Corvus cornix*), грачом (*Corvus frugilegus*) и сорокой (*Pica pica*) в условиях г. Минска. Исследования были проведены в 2015–2016 и 2020 гг. Всего собраны данные по 693 случаям гнездования серой вороны, 343 – грача и 676 – сороки среди городской жилой застройки. В городских кварталах жилой застройки серая ворона и сорока предпочитали гнездиться среди древесных насаждений на придомовых территориях, прилегающих к лицевой стороне домов (45,9% и 49,9% от всего количества гнезд соответственно), а грач – на придомовых территориях с внешней стороны домов (40,8%). Для устройства гнезд данными видами птиц использовалось 25 видов / родов различных кустарников и деревьев, при этом в 98,6% это были лиственные породы. На 6 видах / родах деревьев: береза повислая (*Betula pendula*), клен (*Acer* sp.), ясень (*Fraxinus* sp.), липа мелколистная (*Tilia cordata*), тополь (*Populus* sp.) и каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*) было размещено 78,8% всех гнезд. Средняя высота расположения гнезд варьировала от 11,7 ± 4,02 м у сороки до 16,1 ± 3,2 м у грача, при это в 96,2% всех случаев гнезда располагались в верхней трети дерева. На основании полученных данных обсуждается возможный механизм регуляции численности Врановых в условиях урбоэкосистем.

Ключевые слова: серая ворона, грач, сорока, выбор мест для гнездования, гнездовая биология, урбоэкосистема, синурбизация, Минск.

Для цитирования: Сахвон В. В. Видовой состав городских древесных зеленых насаждений как фактор, определяющий выбор мест для гнездования Врановыми // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 149–156.

V. V. Sakhvon
Belarusian State University

SPECIES COMPOSITION OF URBAN GREEN SPACES AS FACTOR AFFECTING SELECTION OF NEST SITES BY CORVIDS

In this paper the nest site selection patterns of the Hooded crow (*Corvus cornix*), the Rook (*Corvus frugilegus)* and the Eurasian magpie (*Pica pica*) in the city of Minsk was analyzed. The researches were carried out in 2015–2016 and in 2020. Total the data about 693 nests of the Hooded crow, 343 nests of the Rook, and 676 for the Eurasian magpie in urban residential neighborhoods were collected. In quarters of urban residential neighborhoods, the Hooded crows and the Eurasian magpies preferred nesting among trees planted in the courtyards of low-rise and multistoried buildings (45.9% and 49.9% of the total nests respectively), and the Rooks chose adjoining territories on the other side of a building (40.8%). These bird species used 25 species/genera of shrubs and trees for nesting, 98.6% of which were deciduous plants. As many as 78.8% of the total nests were found on six tree species/genera: the Silver birch (*Betula pendula*), maples (*Acer* sp.), ashes (*Fraxinus* sp.), the Small-leaved lime (*Tilia cordata*), populus (*Populus* sp.) and the Horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*). The average nest height ranged from 11.7 ± 4.02 m in the Eurasian magpie to 16.1 ± 3.2 m in the Rook, with 96.2% of nests located in the upper third of a tree. The collected data are used to discuss a possible mechanism of regulating the number of Corvids in the urban ecosystems.

Key words: Hooded crow, Rook, Eurasian magpie, nest site selection, nesting biology, urban ecosystem, synurbisation, Minsk.

For citation: Sakhvon V. V. Species composition of urban green spaces as factor affecting selection of nest sites by corvids. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 149–156 (In Russian).

Введение. Зеленые древесные насаждения (парки, сады, бульвары, скверы) являются неотъемлемым элементом ландшафтно-рекреационного комплекса городов. Они способствуют созданию наилучших санитарно-гигиенических и микроклиматических условий для городского

населения и в целом призваны минимизировать техногенную нагрузку на городские экосистемы [1]. В частности, древесные растения могут существенно снижать шумовой фон [2], хорошо задерживают пыль [1, 2], формируют микроклимат, понижая температуру воздуха и увеличивая относительную его влажность, что особенно ощутимо в летний период года [3], уменьшают концентрацию токсических газов [4]. Для достижения максимально возможного положительного эффекта для человека требуется грамотный подбор ассортимента пород древесных растений, при этом структура и композиция насаждений имеют очень важное значение [1].

Немаловажной особенностью выступает тот факт, что городские зеленые древесные насаждения являются местами обитания, важными для сохранения и поддержания биологического разнообразия, в том числе и видового разнообразия птиц [5, 6]. Появление различных видов птиц среди городской застройки связано с их синурбизацией, обусловленной теми благоприятными условиями для обитания, которые сформированы в урбоэкосистемах, например мягкий микроклимат в городах, постоянная доступность и практически неограниченное количество пищевых ресурсов, отсутствие естественных хищников [7, 8]. К настоящему времени в условиях Беларуси порядка 30 видов птиц стали осваивать или уже успешно смогли внедриться на урбанизированные территории [9].

Птицы как самый многочисленный класс позвоночных животных в городских экосистемах играют заметную, хотя и неоднозначную роль. С одной стороны, они выступают в роли потребителей большого числа животных-вредителей (насекомых, грызунов), чем приносят огромную пользу; имеют важное эстетическое значение для человека. Крупные виды птиц известны своей средообразующей ролью, поскольку их гнезда впоследствии могут заниматься другими, зачастую редкими видами птиц, тем самым происходит поддержание видового разнообразия городской орнитофауны или даже обогащение ее новыми видами. С другой стороны, поедая плоды кустарниковых и древесных растений, используемых в садовых и декоративных посадках, птицы наносят урон, порой значительный, снижая урожайность плодово-ягодных культур и декоративную ценность насаждений [10]. Нельзя не отметить и тот ущерб, который они причиняют в местах ночевок коммунальному хозяйству, пачкая пометом крыши и стены домов, кладбища, архитектурные памятники, автомобили и т. д. Помимо этого, отдельные виды птиц в определенные периоды года способны формировать крупные скопления среди плотной городской застройки, что неизменно приводит к конфликту между ними и человеком. Например, наблюдаемое в последние годы колониальное гнездование крупных белоголовых чаек на крышах высотных зданий, даже в центральных районах городов, заметно повышает городской шумовой фон, приводит к пачканию пометом зданий, тротуаров и автомобилей, тем самым вызывая отрицательную реакцию на них людей [11].

Одними из наиболее ярких представителей, к которым у многих городских жителей сформировано негативное отношение в связи с их жизнедеятельностью, являются Врановые (Corvidae), в частности серая ворона (*Corvus cornix*), грач (*Corvus frugilegus*), и в меньшей степени сорока (*Pica pica*). В настоящее время данные виды птиц достаточно обычны на гнездовании среди древесных насаждений даже в центральных районах г. Минска [12, 13], поэтому постоянно так или иначе взаимодействуют с человеком. Поскольку эти птицы своим гнездованием связаны главным образом с деревьями, можно предположить, что композицией состава древесных насаждений на городских территориях можно регулировать их пространственное распределение и численность, тем самым снижая отрицательное воздействие на человека.

Цель данного исследования – выяснить особенности пространственного распространения и выбора мест для гнездования серой вороной, грачом и сорокой в урболандшафте (на примере г. Минска), необходимые для управления популяциями этих видов птиц в городах.

Основная часть. Данные по особенностям пространственного распределения и выбора мест для размещения гнезд трех модельных видов Врановых были получены на протяжении 2015–2016 гг., а также в 2020 г. на территории г. Минска. Исследованиями были охвачены все основные биотопы, пригодные для обитания данных видов, как по периферии города, так и в центральных его районах, при этом лесополосы по границам сельскохозяйственных полей, промышленные территории, участки естественных лесов в пределах города, а также древесные насаждения вдоль береговой линии водоемов не рассматривались. В качестве количественного метода по установлению пространственного распределения птиц использовался абсолютный подсчет гнездящихся пар с помощью картирования их гнездовых территорий [14]. Количественный учет птиц проводился в период со второй половины февраля до первой декады мая. Дополнительно выполнялось картирование гнезд в осенне-зимний период (с конца октября), когда деревья свободны от листвы, что позволяло эффективно выявлять гнезда модельных видов

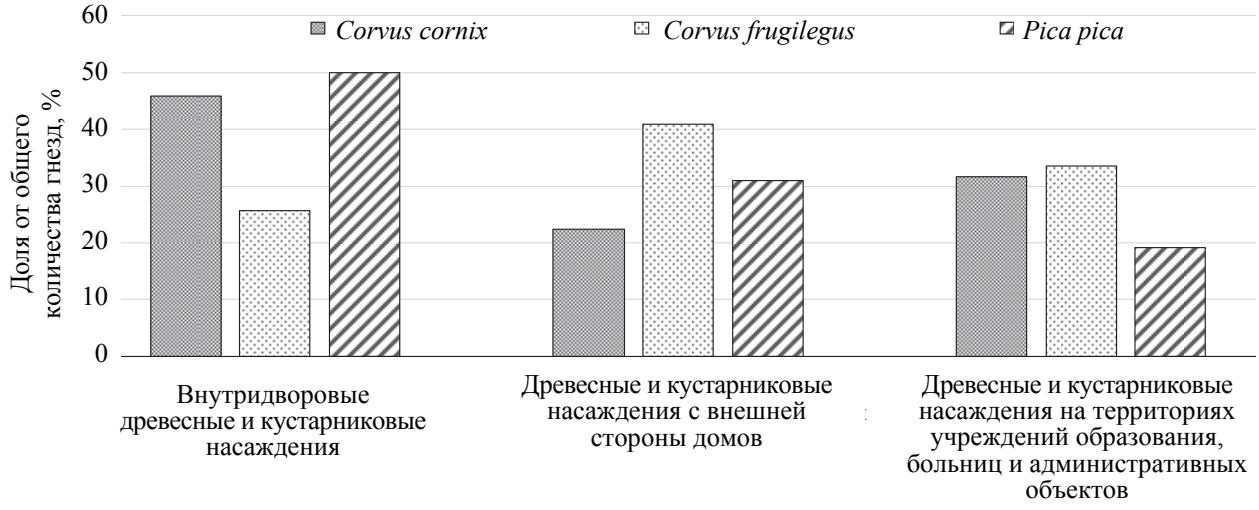
птиц (такие учетные площадки, по возможности, посещались повторно уже в сезон размножения для подтверждения занятости гнездовых территорий). Все зарегистрированные гнезда впоследствии наносились на карту города при помощи инструментария свободного программного пакета GoogleEarth Pro. Плотность гнездования вида рассчитывалась в количестве пар/га. Всего количественными учетами птиц было охвачено более 30 км^2 территории г. Минска (в пределах Минской кольцевой автомобильной дороги).

При обнаружении гнезда проводилось описание его архитектоники: регистрировался вид гнездового дерева/кустарника, часть гнездового дерева, в которой располагалось гнездо, высота расположения гнезда над уровнем земли. В ходе проведенных исследований были собраны данные о 693 гнездах серой вороны, 343 гнездах грача и 676 гнездах сороки.

По результатам исследования было установлено, что серая ворона, сорока и грач являются достаточно обычными гнездящимися видами, встречающимися на всей территории г. Минска, хотя пространственное их распространение различается, что обусловлено как особенностями биологии данных видов, так и различного рода факторами урбосреды. При этом серая ворона и сорока распределены более-менее равномерно, гнездясь в том числе и в центральных городских районах, тогда как гнездовые участки грача разбросаны по городу, а крупные гнездовые колонии данного вида сосредоточены преимущественно по его периферии. Так, плотность гнездования серой вороны возрастает с увеличением площади зеленых древесных насаждений (r Пирсона = 0,369, t = 3,3469, df = 71, p-$value$ = 0,001). При этом максимальная плотность гнездования данного вида наблюдается среди древесных насаждений большой площади, т. е. в скверах и парках, тогда как минимальная – среди современной жилой многоэтажной застройки. Средняя плотность гнездования серой вороны на территории Минска составляет 26,5 пар/км^2, а в некоторых кварталах городской застройки достигает 54 пар/км^2 [13]. В свою очередь сорока отдает явное предпочтение гнездованию среди селитебного ландшафта (в среднем 22 пары/км^2), при этом максимальная плотность гнездования наблюдается среди жилой индивидуальной застройки, в особенности на участках со старыми плодовыми деревьями (до 109 пар/км^2). С другой стороны, данный вид избегает зеленых насаждений в скверах и парках, в особенности больших по площади, гнездясь здесь с минимальной плотностью (в среднем 14 пар/км^2) [12]. Грач, несмотря на явную приуроченность к древесным насаждениям вне плотной городской застройки (скверы, парки, аллеи деревьев вдоль автомобильных дорог и др.), для гнездования выбирал и насаждения во дворах жилых многоэтажных домов. Однако в таких местах данный вид обычно гнездится в количестве одной, реже двух или трех пар, тогда как в периферийных колониях минимальное количество гнезд, как правило, составляет 20 и более гнездящихся пар.

Анализ распределения гнездовых территорий модельных видов птиц внутри жилых городских кварталов показал, что выбор мест для гнездования у этих видов различался (рисунок).

Серая ворона предпочитает гнездиться среди древесных насаждений на придомовой территории, прилегающей к лицевой стороне дома (далее – внутридворовая территория), где располагалось 45,9% всех обнаруженных гнезд. Также данный вид сравнительно часто гнездится на территориях детских садов, школ и различных административных зданий (отмечен практически на 100% всех объектов данного типа) [13].



Распределение гнезд серой вороны (*Corvus cornix*) (n = 562), грача (*Corvus frugilegus*) (n = 343) и сороки (*Pica pica*) (n = 583) в пределах кварталов жилой городской застройки г. Минска

Грач отдает предпочтение гнездованию на придомовых территориях с внешней стороны домов, хотя также обычен в насаждениях на территориях учреждений образования (детские сады, школы), больниц и административных зданий, причем в таких местах данный вид формирует групповые поселения чаще, чем на придомовых территориях жилых домов в целом. Например, среди 32 случаев гнездования грача на придомовых территориях в 15 из них насчитывалось 1–2 гнездящиеся пары в одной локации, в 6 – 3 гнездящиеся пары и в 3 – более 8 гнездящихся пар (остальные 8 случаев – свыше 10 пар). Тогда как среди 13 случаев гнездования грача на территориях учреждений образования и т. д. не зарегистрировано одиночных гнездящихся пар, а только групповые поселения (от 5 до 24 гнездящихся пар). Наблюдаемую избирательность можно объяснить тем, что древесные насаждения на территориях школ, детских садов и т. д., как правило, достаточно плотные, характеризуются старовозрастностью и присутствием в составе древостоя березы повислой (*Betula pendula*), которая охотно выбирается для размещения гнезд всеми Врановыми (табл. 1). Не менее важное значение имеет при этом и сравнительно небольшой фактор беспокойства со стороны человека.

Сорока для гнездования чаще всего выбирает внутридворовые территории (почти половина всех зарегистрированных гнезд), тогда как на территориях детских садов, школ, больниц и различных административных зданий сравнительно немногочисленна (19,2% всех гнездящихся пар) (см. рисунок).

В условиях г. Минска для устройства гнезд модельными видами птиц использовалось 25 видов/родов различных кустарников и деревьев, при этом в абсолютном большинстве случаев отдавалось предпочтение лиственным породам (98,6% от всего количества гнезд) (табл. 1). Серая ворона, грач и сорока предпочитали гнездиться на березе повислой (в сумме 22,7% всех гнезд), несколько в меньшей степени – на кленах (*Acer* sp.) (16,9%), ясенях (*Fraxinus s*p.) (11,9%) и липе мелколистной (*Tilia cordata*) (11,9%).

Таблица 1

Особенности выбора растений для устройства гнезд серой вороной (*Corvus cornix*), грачом (*Corvus frugilegus*) и сорокой (*Pica pica*) в условиях городской жилой застройки Минска (*n* – количество гнезд на отдельный вид растения; % – доля от всего количества гнезд)

Вид гнездового дерева	*Corvus cornix*		*Pica pica*		*Corvus frugilegus*		Объединенные данные	
	n	%	*n*	%	*n*	%	*n*	%
Betula pendula	171	25,8	81	12,6	110	37,8	362	22,70
Populus sp.	102	15,4	18	2,8	10	3,4	130	8,10
Tilia cordata	74	11,1	103	16,0	13	4,5	190	11,90
Acer sp.	62	9,3	109	16,9	99	34,0	270	16,90
Fraxinus sp.	54	8,1	83	12,9	53	18,2	190	11,90
Aesculus hippocastanum	52	7,8	63	9,8	1	0,35	116	7,30
Acer negundo	22	3,3	29	4,5	1	0,35	52	3,30
Pyrus sp.	37	5,6	15	2,3	–	–	52	3,30
Salix sp.	19	2,9	16	2,5	–	–	35	2,20
Malus domestica	13	2,0	21	3,3	–	–	34	2,10
Larix decidua	10	1,5	–	–	–	–	10	0,60
Prunus sp.	7	1,1	53	8,3	–	–	60	3,80
Robinia pseudoacacia	5	0,7	4	0,6	–	–	9	0,60
Picea abies	4	0,6	2	0,3	2	0,7	8	0,50
Crataegus sp.	2	0,3	15	2,3	–	–	17	1,05
Prunus padus	2	0,3	2	0,3	–	–	4	0,20
Ulmus sp.	2	0,3	–	–	1	0,35	3	0,20
Sorbus aucuparia	1	0,2	–	–	–	–	1	0,05
Prunus maackii	1	0,2	–	–	–	–	1	0,05
Querqus robur	–	–	1	0,2	–	–	1	0,05
Thuja sp.	–	–	3	0,5	–	–	3	0,20
Picea pungens	–	–	1	0,2	–	–	1	0,05
Viburnum opulus	–	–	2	0,3	–	–	2	0,10
Amelanchier spicata	–	–	2	0,3	–	–	2	0,10
Pinus sylvestris	–	–			1	0,35	1	0,05
Другое* (лиственные деревья)	23	3,5	20	3,1	–	–	43	2,70
Всего	663	100	643	100	291	100	1597	100

В сумме 78,8% всех гнезд модельных видов птиц располагалось на 6 видах / родах деревьев (помимо вышеперечисленных, тополь (*Populus* sp.) и каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*)). Следует отметить, что почти все вышеперечисленные растения являются наиболее распространенными в структуре древесных насаждений в условиях г. Минска [15]. Если же отбросить единичные случаи выбора Врановыми тех или иных видов / родов деревьев и кустарников, то свыше 95% всех случаев гнездования приходится всего на 13 видов / родов растений (табл. 1).

Наиболее пластичным видом птиц является сорока, которая в общей сложности размещала гнезда на 20 видах / родах растений, несколько уступает ей в этом серая ворона (19 видов / родов), при этом избирательность гнездовых деревьев у исследованных видов отличалась (табл. 2). Серая ворона гнездилась главным образом на березе повислой и тополях, сорока – на кленах и липе мелколистной, а грач – на березе повислой и кленах. Только сорока могла устраивать гнезда на кустарниках, обладающих хорошими маскирующими или защитными функциями, как, например, боярышник (*Crataegus* sp.).

Клен ясенелистный (*Acer negundo*), робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia*) и ирга колосистая (*Amelanchier spicata*), используемые для гнездования Врановыми, являются инвазивными в условиях Беларуси [16]. Как мы можем видеть из табл. 1, 1,4 % всех гнезд располагалось на данных растениях. В ряде исследований указано, что инвазивные виды растений способствуют заселению городских территорий различными видами птиц [17–19].

Минимальная средняя высота расположения гнезд была зафиксирована у сороки (11,7 ± 4,02 м (от 3 до 32 м); $n = 646$), тогда как для серой вороны она равнялась 13,3 ± 4,0 м (от 2 до 24 м; $n = 644$). Грач же, в отличие от этих видов, выбирал для гнездования только высокие деревья (средняя высота расположения гнезд 16,1 ± 3,2 м (от 12 до 24 м; $n = 41$), при этом более половины всех гнезд у данного вида (51,2%) располагалось в верхней трети дерева в диапазоне высот от 15 до 20 м (табл. 2). В свою очередь у серой вороны и сороки большинство гнезд располагалось на высоте от 10 до 15 м (50 и 45,8% всех гнезд соответственно).

Анализ особенностей выбора мест для гнездования серой вороной, грачом и сорокой в условиях урбоэкосистем г. Минска показал сходство основных параметров с таковыми популяций данных видов из других регионов. В частности, на предпочтение устройства гнезд данными видами птиц на наиболее распространенных в городских насаждениях видах деревьев, отличающихся значительной высотой, высоковозрастностью и хорошо развитой кроной, указывали многие авторы. Так, в Дебрецене (Венгрия) серая ворона предпочитает устраивать гнезда на каркасе западном (*Celtis occidentalis*), дубе черешчатом (*Querqus robur*), софоре японской (*Sophora japonica*) и тополях [20], в урбоэкосистемах Житомирской области (Украина) данный вид выбирает березу повислую и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis*) [21].

Заключение. Биотопическая структура урбанизированных территорий, в том числе общая характеристика древесных зеленых насаждений в кварталах жилой городской застройки, выступает одним из основных лимитирующих факторов при выборе мест для гнездования модельными видами птиц. Для дендрофильных видов, которыми являются серая ворона, грач и сорока, особое значение играет состав древостоя, его возрастная структура, а также площадь древесных насаждений [20, 22–24], в то время как кормиться они могут на значительном удалении от мест для гнездования.

Таблица 2

Особенности расположения гнезд серой вороны (*Corvus cornix*), грача (*Corvus frugilegus*) и сороки (*Pica pica*) в условиях жилой городской застройки г. Минска

Общая характеристика		*Corvus cornix*		*Pica pica*		*Corvus frugilegus*	
		Число случаев, *n*	Доля, %	Число случаев, *n*	Доля, %	Число случаев, *n*	Доля, %
Часть дерева, в которой размещено гнездо	<1/3	6	1,9	1	0,2	–	–
	1/3–2/3	58	18,6	42	6,6	11	3,8
	>3/3	248	79,5	598	93,3	280	96,2
Высота расположения гнезда (м)	< 5	4	0,6	20	3,1	–	–
	5,1–10,0	156	23,9	221	34,5	–	–
	10,1–15,0	327	50,0	293	45,8	17	41,5
	15,1–20,0	122	18,7	91	14,2	21	51,2
	>20,1	45	6,9	15	2,3	3	7,3

К примеру, установлено, что синурбизированные вяхири (*Columba palumbus*) могут гнездиться даже в центральных густонаселенных районах городов [25], но для кормления они вынуждены осуществлять дальние перелеты на сельскохозяйственные поля, находящиеся вне урбанизированных территорий [26]. Такое утверждение справедливо и для грача, у которого крупные городские колонии могут существовать лишь при условии наличия на доступном расстоянии больших по площади открытых пространств (полей, лугов), на которых птицы могут кормиться [27]. В меньшей степени это характерно для таких пластичных видов, как серая ворона и сорока (они кормятся недалеко от мест своего гнездования).

Учитывая неоднозначную роль Врановых в условиях урбоэкосистем, предлагаются разные способы регуляции их численности, например, от ограничения доступа птиц к источникам пищи в мусорных баках за счет изменения конструкций последних [25] до целенаправленного отлова птиц и переселения их в другие места [20]. Установленная избирательность в выборе мест для гнездования серой вороной, сорокой и грачом в условиях урбоэкосистем может быть использована для управления численностью данных видов здесь. Рациональное планирование и подбор состава древесных насаждений на придомовых территориях будут связаны с пространственным перераспределением гнездовых участков модельных видов птиц за их пределы и, соответственно, уменьшением количества гнездящихся пар, несмотря на то, что данные виды характеризуются широкой пластичностью и их гнездовые стереотипы могут измениться следом за изменением структуры древесных насаждений [24]. В частности, в качестве древесных культур предлагается использовать те виды, которые не достигают значительной высоты в зрелом возрасте, к тому же ограничить использование в посадках на придомовых территориях березы повислой, которая предпочитается для устройства гнезд Врановыми, а также инвазивных видов растений, в частности клена ясенелистного.

Список литературы

1. Рубцов Л. И., Лаптев А. А. Справочник по зеленому строительству. Киев: Будівельник, 1968. 280 с.

2. Литвинова Л. И., Левон Ф. М. Зеленые насаждения и охрана окружающей среды. Киев: Здоровья, 1986. 64 с.

3. Машинский Л. О. Город и природа (Городские зеленые насаждения). М.: Стройиздат, 1973. 228 с.

4. Гродзинский А. М. Проблемы биосферы и фитонциды // Фитонциды: экспериментальные исследования, вопросы теории и практики. 1975. С. 2–39.

5. Fernández-Juricic E., Jokimäki J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe // Biodiversity Conservation. 2001. Vol. 10. P. 2023–2043.

6. Caula S., Marty P., de Villalobos A. E. Seasonal dynamics of bird communities in urban forests of a Mediterranean city (Montpellier, Southern France) // Urban ecosystems. 2014. Vol. 17 (1). P. 11–26.

7. Rodewald A. D., Shustack D. P. Consumer resource matching in urbanizing landscapes: Are synanthropic species over-matching? // Ecology. 2008. Vol. 89. P. 515–521.

8. Kövér L., Lengyel S., Takenaka M., Kirchmeir A., Uhl F., Miller R., Schwab C. Why do zoos attract crows? A comparative study from Europe and Asia // Ecology and Evolution. 2019. Vol. 9. P. 14465–14475.

9. Сахвон В. В. Видовое богатство и экологическая структура орнитофауны урбанизированных территорий в условиях Беларуси // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2018. № 1. С. 95–102.

10. Сахвон В. В. Птицы, наносящие ущерб культивируемым и ресурсным растениям в Беларуси // Защита растений. 2014. Вып. 38. С. 331–341.

11. Rock P. Urban gulls: problems and solutions // British birds. 2005. Vol. 98. P. 338–355.

12. Сахвон В. В. Плотность гнездования и особенности пространственного распределения сороки (*Pica pica*) в городе Минске // Труды БГУ. 2016. Т. 11. Ч. 2. С. 286–290.

13. Сахвон В. В. История формирования и особенности пространственного распределения синурбизированной популяции серой вороны (*Corvus cornix*) в г. Минске (Беларусь) // Веснік ВДУ. 2018. № 1 (98). С. 26–30.

14. Бибби К., Джонс М., Марсден С. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц. М.: Союз охраны птиц России, 2000. 186 с.

15. Кравчук Л. А., Рыжиков В. А. Структура, состояние и устойчивость древесных насаждений в посадках вдоль улиц и дорог в городах Беларуси // Природопользование. 2011. № 20. С. 81–90.

16. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения. Минск: Беларуская навука, 2020. 407 с.

17. Chace J. F., Walsh J. J. Urban effects on native avifauna: a review // Landscape and Urban Planning. 2006. Vol. 74. P. 46–69.

18. Chalker-Scott L. Nonnative, noninvasive woody species can enhance urban landscape biodiversity // Arboriculture & Urban Forestry. 2015. Vol. 41 (4). P. 173–186.

19. Luck G. W., Davidson P., Boxall D., Smallbone L. Relations between urban bird and plant communities and human well-being and connection to nature // Conservation Biology. 2011. Vol. 25. P. 816–826.

20. Kövér L., Gyüre P., Balogh P., Huettmann F., Lengyel S., Juhasz L. Recent colonization and nest site selection of the Hooded Crow (*Corvus corone cornix L.*) in an urban environment // Landscape and urban planning. 2015. Vol. 133. P. 78–86.

21. Зимароева А. А., Мацюра О. В. Особенности гнездовой экологии популяций серой вороны (*Corvus cornix L.*) в условиях трансформированных ландшафтов // Біологічний вісник МДПУ. 2011. № 3. С. 28–36.

22. Jerzak L. Magpie *Pica pica* nest sites in urban habitats in Poland // Acta ornithologica. 1997. Vol. 32 (1). P. 69–76.

23. McIvor G. E. Hooded crows nesting inside a caravan // British birds. 2015. Vol. 108. P. 430–431.

24. Mclvor G., Healy S. Nest site selection and patterns of nest re-use in the Hooded Crow *Corvus cornix* // Bird Study. 2017. Vol. 64 (3). P. 374–385.

25. Sakhvon V., Kövér L. Distribution and habitat preferences of the urban Woodpigeon (*Columba palumbus*) in the north-eastern breeding range in Belarus // Landscape and urban planning. 2020. Vol. 201.

26. Tomiałojć L. The urban population of the Wood pigeon *Columba palumbus* Linneaus, 1758 in Europe – its origin, increase and distribution // Acta zoological Cracoviensia. 1976. Vol. 21. P. 586–631.

27. Kopij G., Wawrzyniak M. Veranderungen in bestand, habitat und brutplatzwahl der saatkrahe *Corvus frugilegus* in der stadt Wroclaw im zeitraum von 1919 bis 2010 // Ornithologische Mitteilungen. 2015. Vol. 67 (1–2). P. 33–38.

References

1. Rubtsov L. I., Laptev A. A. *Spravochnik po zelenomy stroitel'stvu* [Guide to green building]. Kyev, Budivel'nik Publ., 1968, 280 p.

2. Litvinova L. I., Levon F. M. *Zelenye nasazhdeniya i okhrana okruzhayushchey sredy* [Green spaces and environmental protection]. Kyev, Zdorov'ya Publ., 1986, 64 p.

3. Mashinskiy L. O. *Gorod i priroda* (*Gorodskiye zelenyye nasazhdeniya*) [City and nature (Urban green spaces)]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1973, 228 p.

4. Grodzinskij A. M. Biosphere problems and phytoncides. *Fitontsydy: eksperimentalnye issledovaniya, voprosy teorii i praktiki* [Phytoncides: experimental research, questions of theory and practice], 1975, pp. 2–39 (In Russian).

5. Fernández-Juricic E., Jokimäki J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe. *Biodiversity Conservation*, 2001, vol. 10, pp. 2023–2043 (In English).

6. Caula S., Marty P., de Villalobos A. E. Seasonal dynamics of bird communities in urban forests of a Mediterranean city (Montpellier, Southern France). *Urban ecosystems*, 2014, vol. 17 (1), pp. 11–26 (In English).

7. Rodewald A. D., Shustack D. P. Consumer resource matching in urbanizing landscapes: Are synanthropic species over-matching? *Ecology*, 2008, vol. 89, pp. 515–521 (In English).

8. Kövér L., Lengyel S., Takenaka M., Kirchmeir A., Uhl F., Miller R., Schwab C. Why do zoos attract crows? A comparative study from Europe and Asia. *Ecology and Evolution*, 2019, vol. 9, pp. 14465–14475 (In English).

9. Sakhvon V. V. Species richness and ecological structure of bird assemblages in urban areas in Belarus. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Journal of the Belarusian State University. Biology], 2018, no. 1, pp. 95–102 (In Russian).

10. Sakhvon V. V. Birds damaging cultivated and resource plants in Belarus. *Zashchita rasteniy* [Plant protection], 2014, vol. 38, pp. 331–341 (In Russian).

11. Rock P. Urban gulls: problems and solutions. *British birds*, 2005, vol. 98, pp. 338–355 (In English).

12. Sakhvon V. V. Breeding density and distribution of Magpie (*Pica pica*) in Minsk. *Trudy BSU* [Proceedings of the Belarusian State University], 2016, vol. 11, part 2, pp. 286–290 (In Russian).

13. Sakhvon V. V. Development and distribution of synurbic population of Hooded Crow (*Corvus cornix*) in Minsk (Belarus). *Vestnik VSU* [Bulletin of Vitebsk State University], 2018, no. 1 (98), pp. 95–102 (In Russian).

14. Bibby C., Jones M., Marsden S. *Metody polevykh ekspeditsionnykh issledovaniy: isledovaniya i uchety ptits* [Expedition field techniques: bird surveys]. Moscow, Soyuz okhrany ptits Rossii Publ., 2000, 186 p.

15. Kravchuk L. A., Ryzhikov V. A. Structure, condition and stability of roadside plantings in cities of Belarus. *Prirodopol'zovaniye* [Nature management], 2011, vol. 20, pp. 81–90 (In Russian).

16. *Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodnyye vredonosnyye rasteniya* [The black book of the flora of Belarus: alien harmful plants]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020, 407 p.

17. Chace J. F., Walsh J. J. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning*, 2006, vol. 74, pp. 46–69 (In English).

18. Chalker-Scott L. Nonnative, noninvasive woody species can enhance urban landscape biodiversity. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2015, vol. 41 (4), pp. 173–186 (In English).

19. Luck G. W., Davidson P., Boxall D., Smallbone L. Relations between urban bird and plant communities and human well-being and connection to nature. *Conservation Biology*, 2011, vol. 25, pp. 816–826 (In English).

20. Kövér L., Gyüre P., Balogh P., Huettmann F., Lengyel S., Juhasz L. Recent colonization and nest site selection of the Hooded Crow (*Corvus corone cornix L.*) in an urban environment. *Landscape and urban planning*, 2015, vol. 133, pp. 78–86 (In English).

21. Zimaroeva A. A., Matsjura O. V. Features of the nesting ecology of populations of the Hooded crow (*Corvus cornix L.*) in the transformed landscapes. *Biologichnyy visnyk MSPU* [Biological bulletin of Bogdan Chmelnitskiy Melitopol State Pedagogical University], 2011, no. 3, pp. 28–36 (In Russian).

22. Jerzak L. Magpie *Pica pica* nest sites in urban habitats in Poland. *Acta ornithological*, 1997, vol. 32 (1), pp. 69–76 (In English).

23. McIvor G. E. Hooded crows nesting inside a caravan. *British birds*, 2015, vol. 108, pp. 430–431 (In English).

24. Mclvor G., Healy S. Nest site selection and patterns of nest re-use in the Hooded Crow *Corvus cornix. Bird Study*, 2017, vol. 64 (3), pp. 374–385 (In English).

25. Sakhvon V., Kövér L. Distribution and habitat preferences of the urban Woodpigeon (*Columba palumbus*) in the north-eastern breeding range in Belarus. *Landscape and urban planning*, 2020, vol. 201 (In English).

26. Tomiałojć L. The urban population of the Wood pigeon *Columba palumbus* Linneaus, 1758 in Europe – its origin, increase and distribution. *Acta zoological Cracoviensia*, 1976, vol. 21, pp. 586–631 (In English).

27. Kopij G., Wawrzyniak M. Veranderungen in bestand, habitat und brutplatzwahl der saatkrahe *Corvus frugilegus* in der stadt Wroclaw im zeitraum von 1919 bis 2010. *Ornithologische Mitteilungen*, 2015, vol. 67 (1–2), pp. 33–38 (In English).

Информация об авторе

Сахвон Виталий Валерьевич – кандидат биологических наук, доцент, заместитель декана биологического факультета. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр. Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: sakhvon@gmail.com

Information about the author

Sakhvon Vital Valer'yevich – PhD (Biology), Associate Professor, Deputy Dean, the Faculty of Biology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sakhvon@gmail.com

Поступила 21.03.2021

УДК 630*453

В. В. Усеня, Н. Л. Севницкая, Г. М. Помаз
Институт леса НАН Беларуси

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ЛЕСОСЕК ОТ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ НА ВЫРУБКАХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ОЧАГАХ СТВОЛОВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ

В 2019–2020 гг. проведено энтомологическое обследование порубочных остатков до и после их утилизации на вырубках усыхающих сосновых насаждений при различном сроке проведения сплошных санитарных рубок в ГОЛХУ «Гомельский опытный лесхоз», Речицком опытном лесхозе, ГЛХУ «Петриковский лесхоз», ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз».

Дана оценка численности доминирующих ксилофагов в порубочных остатках и биологической эффективности различных способов их утилизации на вырубках усыхающих сосновых насаждений в весенний, летний и осенне-зимний периоды.

При качественной очистке лесосек биологическая эффективность сжигания порубочных остатков по отношению к стволовым вредителям составила в среднем соответственно 90,59–92,54%, 92,39–94,03% в весенний, летний периоды, измельчения – 90–93,8%, 93,52% в весенний, осенне-зимний периоды. Кроме вершинного короеда *Ips acuminatus* Gyll., уничтожаются и другие доминирующие на вырубках ксилофаги: двузубый гравер *Pityogenes bidentatus* Hbst., валежный короед *Orthotomicus proximus* Eichh., личинки усачей *Cerambycidae*, имеющие второстепенное значение. Биологическая эффективность сжигания в весенний и летний периоды (92,54 и 92,49%) и измельчения в весенний и осенне-зимний периоды (93,8 и 93,52%) порубочных остатков против вершинного короеда практически одинаковая.

Ключевые слова: сосновые насаждения, стволовые вредители, вершинный короед, порубочные остатки, вырубки, мульчер, биологическая эффективность.

Для цитирования: Усеня В. В., Севницкая Н. Л., Помаз Г. М. Оценка биологической эффективности различных способов очистки лесосек от порубочных остатков на вырубках сосновых насаждений в очагах стволовых вредителей сосны // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 157–163.

V. V. Usenya, N. L. Sevnitskaya, G. M. Pomaz
Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus

ASSESSMENT OF BIOLOGICAL EFFICIENCY OF DIFFERENT METHODS CLEARING OF CUTTING AREAS FROM LOGGING RESIDUES ON FELLING PINE STANDS IN THE FOCI OF STEM PESTS

In 2019–2020 entomological examination of logging residues before and after their utilization was carried out on felling drying pine stands at different periods of clear sanitary felling in the state forestry institutions.

The number of dominant xylophagous insects in logging residues and biological efficiency of various methods of their utilization on felling drying pine stands in the spring, summer and autumn-winter periods have been estimated.

With high-quality cleaning of felling areas the biological efficiency of burning logging residues in relation to stem pests averaged 90.59–92.54%, 92.39–94.03% in spring and summer periods, shredding – 90–93.8%, 93.52% in spring, autumn-winter periods. In addition to the *Ips acuminatus* Gyll. other dominant xylophagous insects *Pityogenes bidentatus* Hbst., *Orthotomicus proximus* Eichh., larvae of barbels are also destroyed on felling areas, which are of secondary importance. The biological efficiency of burning in the spring and summer periods (92.54 and 92.49%) and shredding in the spring and autumn-winter periods (93.8 and 93.52%) of logging residues against the *Ips acuminatus* Gyll. is almost the same.

Key words: pine stands, stem pests, *Ips acuminatus* Gyll., logging residues, felling, mulcher, biological efficiency.

For citation: Usenya V. V., Sevnitskaya N. L., Pomaz G. M. Assessment of biological efficiency of different methods clearing of cutting areas from logging residues on felling pine stands in the foci of pine stem pests. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 157–163 (In Russian).

Введение. В последнее время в Беларуси отмечается усыхание сосновых насаждений, одной из основных причин которого является массовое размножение вершинного короеда *Ips acuminatus* Gyll. и других стволовых вредителей. Новый патологический процесс, называемый «короедное усыхание сосны», впервые выявлен в Гомельском лесхозе (2010 г.), затем постепенно распространился по всей территории Белорусского Полесья и сопредельных регионов [1]. С 2016 г. наибольшие объемы усыхания сосновых лесов отмечены в Гомельской и Брестской областях, а также на юге Могилевской и Минской областей. За 2018–2019 гг. в результате проведения сплошных санитарных рубок вырублено 16,17 млн м^3 сосны [2].

Вершинный короед встречается в древостоях от 45 лет и старше, вызывает усыхания деревьев, которые проявляются в виде групп и куртин свежего сухостоя с порыжевшей кроной [3]. Наиболее подвержены короедному усыханию насаждения сосны старших возрастов (от 80 лет и выше), высокой и средней продуктивности (Ia–III) бонитета, низкополнотные, чистые и с небольшой примесью других пород, мшистого, орлякового и черничного типов леса [4]. Часто усыхание происходит в очагах корневых гнилей, заподсоченных или пройденных рубкой древостоях, стенах леса по периметру вырубок, колочных лесах, но куртины могут образоваться и в здоровых насаждениях [5]. Вредитель поселяется также на ветровале, буреломе и в порубочных остатках. Заселяет стволы деревьев в районе тонкой коры и ветвей.

Учеными БГТУ проведены всесторонние исследования по изучению биологии, популяционных показателей вершинного короеда и других стволовых вредителей, особенностей развития их популяций, разработке мероприятий по регулированию численности ксилофагов, в том числе с применением порубочных остатков в качестве ловчего материала на сосновых вырубках [3–7].

Для сохранения повреждаемых насаждений выполняется комплекс лесохозяйственных и санитарно-оздоровительных мероприятий, основные из которых – выборочные и сплошные санитарные рубки. В результате проведения санитарных рубок образуются вырубки с порубочными остатками. Наиболее часто они заселяются вершинным короедом *Ips acuminatus* Gyll., двузубым гравером *Pityogenes bidentatus* Hbst., валежным короедом *Orthotomicus proximus* Eichh., усачами *Cerambycidae*.

Проведенное сотрудниками ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» лесопатологическое обследование порубочных остатков после сплошных санитарных рубок в сосновых насаждениях выявило в них значительную численность вершинного короеда на различных стадиях его развития (11,21–25,78 экз./дм^2) [8]. На вырубках при оставлении порубочных остатков создаются условия для дальнейшего расселения насекомых-вредителей в прилегающие насаждения.

При очистке лесосек в очагах стволовых вредителей сосны, перечисленных в приложении 8–2 к Санитарным правилам в лесах Республики Беларусь [9], порубочные остатки подлежат сжиганию с соблюдением специфических требований по обеспечению пожарной безопасности в лесах и (или) измельчению. При отсутствии возможности сжигания порубочных остатков в очагах стволовых вредителей сосны вследствие высоких классов пожарной опасности лесов по условиям погоды очистку лесосек проводят способом измельчения порубочных остатков. Насекомые-вредители не смогут размножаться, если уничтожить их среду обитания.

Для измельчения порубочных остатков используются специальные фрезы-мульчеры с приводом от вала отбора мощности трактора (SEPPI, FAE, FERRI, AHWI, DENIS TIGERCAT, CIMAF, RAYCO и др.). Мульчер осуществляет очистку лесосек методом захвата порубочных остатков, которые, попадая в ротор, измельчаются до состояния щепы. Пни и крупные ветви перемалываются и после выбрасываются на землю, образуя равномерный слой, затем остатки собираются и перемалываются специальными резцами в еще более мелкую биомассу. Некоторые производители лесных измельчителей допускают незначительное заглубление резцов ротора в грунт для смешивания мульчи с землей, как правило, на глубину не более 3–5 см. Это позволяет значительно ускорить процесс перегнивания оставшихся органических веществ и способствует повышению плодородия почвы [10, 11].

В Беларуси значительная часть имеющихся фрез-мульчеров ранее использовалась не в лесном хозяйстве, а в энергетической и нефтегазовой сферах. В ряде лесхозов мульчеры применяют для проведения рубок реконструкции, уходов за лесными культурам и при прокладывании минерализованных полос, разработке и содержании противопожарных разрывов и т. д. Большинство агрегатов навесные: крепятся к тракторам. В связи с массовым размножением вершинного короеда проводятся работы по испытанию мульчеров для измельчения порубочных остатков [10].

Для минимизации дальнейшего расселения ксилофагов в прилегающие насаждения ведется поиск возможных способов очистки лесосек. Цель работы – изучение биологической эффективности различных способов утилизации порубочных остатков на вырубках усыхающих

сосновых насаждений различного срока проведения.

Основная часть. Исследования проводили на вырубках усыхающих сосновых насаждений в ГОЛХУ «Гомельский опытный лесхоз», Речицком опытном лесхозе, ГЛХУ «Петриковский лесхоз», ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз» в весенний, летний и осенне-зимний периоды.

На вырубках анализировали три средние по размерам кучи и (или) три отрезка вала до 2 м порубочных остатков. Производили учет порубочных остатков с подразделением на незаселенные, заселенные и отработанные стволовыми вредителями; на основании этого определяли процент заселенных остатков. Популяционные показатели развития ксилофагов учитывали на круговых палетках, закладываемых в середине средних по размерам заселенных порубочных остатков. Определяли следующие популяционные показатели: плотность поселения, продукция, энергия размножения. Плотность поселения (экз./дм^2) – число поселившихся жуков родительского поколения на единицу поверхности коры (целесообразно определять по числу поселившихся самок). Продукция (экз./дм^2) – численность молодого поколения (куколок, молодых жуков, летных отверстий) на единице поверхности кормового субстрата. Энергия размножения – отношение продукции к плотности поселения, характеризует изменение численности за период от начала поселения родительского поколения до сформирования дочернего [12]. Порубочные остатки на вырубках утилизированы способом сжигания и измельчения.

После утилизации провели учет численности стволовых вредителей на оставшихся порубочных остатках. Биологическую эффективность способов утилизации порубочных остатков устанавливали в процентах по разности между количеством обнаруженных в порубочных остатках особей ксилофагов до и после утилизации. Расчет биологической эффективности проводили по формуле Аббота [13].

В вышеуказанных лесхозах выполнены сплошные санитарные рубки в весенний, летний и осенне-зимний периоды. Порубочные остатки собраны в кучи или валы. На вырубках ксилофаги выявлены в 50–90% ветвей. В порубочных остатках, кроме вершинного короеда, встречались личинки усачей, валежный короед, двузубый гравер, которые также были утилизированы путем сжигания или измельчения. Показатели плотности поселения и продукции жуков вершинного короеда в ветвях имели средние и высокие значения (табл. 1, 2). Энергия размножения средняя (1,10–1,71). В таблицах также указаны сроки проведения сплошных санитарных рубок и биологическая эффективность сжигания и измельчения порубочных остатков.

В Добрушском лесничестве Гомельского опытного лесхоза (кв. 405 выд. 1; 2; 5; 6; кв. 404 выд. 6) деревья сосны заселены вредителем еще до рубки в летний период. Жуки вершинного короеда зимовали в ветвях и стволах деревьев. Порубочные остатки сожжены до начала лёта весенней генерации ксилофага. После проведения сплошной санитарной рубки в апреле 2020 г. в Добрушском лесничестве (кв. 400 выд. 6; 10; 11) порубочные остатки в валах заселились вершинным и валежным короедами, двузубым гравером. Имели место старые усохшие отработанные ксилофагами ветви. Порубочные остатки измельчены с помощью лесной фрезы AHWI M450. В Боковском лесничестве Мозырского опытного лесхоза на вырубках использовали навесной мульчер УРН-450-1900.

В предыдущих исследованиях была изучена динамика численности доминирующих ксилофагов в различных фракциях порубочных остатков на вырубках усыхающих сосновых насаждений. Установлено, что в весенний и летний периоды фракции порубочных остатков до 12 см заселяются вершинным короедом [14].

Следовательно, при измельчении порубочных остатков рекомендуется получить преимущественно в основном фракции: длиной не более 30 см и диаметра не более 2–3 см, без коры или частично сохранившейся корой. В таких порубочных остатках отсутствуют живые жуки вершинного короеда и других ксилофагов или они присутствуют единично. Насекомые-вредители гибнут при механическом воздействии ротора мульчера и снижении влажности кормового субстрата [15].

Большое значение имеет соблюдение определенных сроков очистки лесосек для предотвращения разлета жуков стволовых вредителей на близлежащие сосновые насаждения. В весенне-летний период, когда отмечается лёт и миграционная активность вершинного короеда и других ксилофагов, порубочные остатки могут заселяться данными вредителями, либо вершинный короед может уже присутствовать в ветвях, оставшихся на лесосеке после рубки заселенных деревьев в очаге стволовых вредителей сосны. В настоящее время в Санитарные правила в лесах Республики Беларусь внесены изменения. Очистка лесосек от порубочных остатков при проведении рубок леса в очагах стволовых вредителей сосны с 1 апреля по 1 сентября осуществляется в период действия лесорубочного билета, но не позднее 30 дней после фактического окончания рубки леса [9].

В осенне-зимний период миграции стволовых вредителей не наблюдается, и они остаются на зимовку в порубочных остатках. Следовательно, порубочные остатки в данный период можно утилизировать до конца марта, т. е. до начала лёта ксилофагов.

Таблица 1

Биологическая эффективность сжигания порубочных остатков по отношению к стволовым вредителям на вырубках усыхающих сосновых насаждений

Квартал / выдел	Вид ксилофага	Среднее количество жуков, экз./дм^2		Биологическая эффективность, %
		до сжигания	после сжигания	
Добрушское лесничество Гомельского опытного лесхоза (февраль – март 2020 г.)				
405/ 1; 2; 5; 6	Вершинный короед	14,91 ± 4,89	1,10 ± 0,30	92,62
	Личинки усачей	1,21 ± 0,02	0,10 ± 0,01	91,73
404/6	Вершинный короед	20,21 ± 3,51	1,91 ± 0,62	90,55
Макеевское лесничество Гомельского опытного лесхоза (апрель – май 2020 г.)				
1/ 19	Вершинный короед	3,39 ± 0,99	0,28 ± 0,08	91,74
	Двузубый гравер	5,60 ± 1,20	0,50 ± 0,10	91,07
	Валежный короед	2,10 ± 0,70	0,20 ± 0,05	90,47
17/12	Вершинный короед	3,10 ± 0,86	0,20 ± 0,06	93,54
	Двузубый гравер	6,64 ± 1,31	0,70 ± 0,20	89,45
	Валежный короед	7,56 ± 0,50	0,81 ± 0,20	89,29
Борщевское лесничество Речицкого опытного лесхоза (март – апрель 2020 г.)				
134/11; 18; 19 138/4; 5	Вершинный короед	3,66 ±1,77	0,22 ± 0,03	93,99
	Двузубый гравер	1,10 ± 0,40	0,08 ± 0,01	92,79
	Валежный короед	1,67 ± 0,70	0,09 ± 0,02	94,61
	Личинки усачей	0,19 ± 0,03	0,02 ± 0,01	89,47
211/3	Вершинный короед	2,70 ± 1,66	0,18 ± 0,04	93,33
	Двузубый гравер	2,27 ± 0,98	0,16 ± 0,03	92,95
Залесское лесничество Петриковского лесхоза (июнь 2020 г.)				
31/18; 19	Вершинный короед	11,09 ± 2,47	0,86 ± 0,11	92,25
	Двузубый гравер	1,09 ± 0,62	0,08 ± 0,02	92,66
53/2	Вершинный короед	6,71 ± 2,49	0,54 ± 0,09	91,95
	Двузубый гравер	1,27 ± 0,06	0,10 ± 0,03	92,13
	Валежный короед	0,67 ± 0,11	0,04 ± 0,01	94,03
	Личинки усачей	0,59 ± 0,18	0,04 ± 0,01	93,22
Боковское лесничество Мозырского опытного лесхоза (июль 2019 г.)				
57/5; 10	Вершинный короед	13,71 ± 2,92	0,92 ± 0,24	93,29

Таблица 2

Биологическая эффективность измельчения порубочных остатков по отношению к стволовым вредителям на вырубках усыхающих сосновых насаждений

Квартал / выдел	Вид ксилофага	Среднее количество жуков, экз./дм^2		Биологическая эффективность, %
		до измельчения	после измельчения	
Добрушское лесничество Гомельского опытного лесхоза (апрель 2020 г.)				
400/ 6; 10; 11	Вершинный короед	3,20 ± 0,81	0,20 ± 0,09	93,75
	Двузубый гравер	2,38 ± 0,92	0,21 ±0,06	91,17
	Валежный короед	1,00 ± 0,69	0,10 ± 0,03	90,00
Боковское лесничество Мозырского опытного лесхоза (сентябрь 2019 г.; февраль 2020 г.)				
61/1	Вершинный короед	15,53 ± 4,04	1,17 ± 0,51	92,47
55/33	Вершинный короед	10,69 ± 2,74	0,58 ± 0,13	94,57

Для успешной ликвидации очагов массового размножения вершинного короеда и других стволовых вредителей необходима тщательная очистка лесосек от порубочных остатков и их оперативная утилизация (сжигание или измельчение), что приведет к снижению кормовой базы и численности ксилофагов.

Заключение. В ГОЛХУ «Гомельский опытный лесхоз», Речицком опытном лесхозе, ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз», ГЛХУ «Петриковский

лесхоз» проведена утилизация порубочных остатков на вырубках усыхающих сосновых насаждений весеннего, летнего и осенне-зимнего периодов путем сжигания или измельчения, выполнен энтомологический анализ порубочных остатков до и после их утилизации, рассчитана биологическая эффективность проведенных мероприятий.

При качественной очистке лесосек биологическая эффективность сжигания порубочных остатков по отношению к стволовым вредителям составила в среднем соответственно 90,59–92,54%, 92,39–94,03% в весенний, летний периоды, измельчения – 90–93,8%, 93,52% в весенний, осенне-зимний периоды. Кроме вершинного короеда, уничтожаются и другие доминирующие на вырубках ксилофаги: двузубый гравер, валежный короед, личинки усачей, имеющие второстепенное значение. Биологическая эффективность сжигания в весенний и летний периоды (92,54 и 92,49%) и измельчения в весенний и осенне-зимний периоды (93,8 и 93,52%) порубочных остатков против вершинного короеда практически одинаковая.

Список литературы

1. Сазонов А. А., Кухта В. Н., Тапчевская В. А. Вспышка массового размножения вершинного короеда (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827), Scolytinae, Coleoptera) в лесах Белорусского Полесья // Итоги и перспективы развития энтомологии в Восточной Европе: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 сент. 2017 г. Минск: А. Н. Вараксин, 2017. С. 366–378.

2. Обзор лесопатологического и санитарного состояния лесного фонда Республики Беларусь за 2019 год и прогноз развития патологических процессов на 2020 год. Минск: Беллесозащита, 2020. 70 с.

3. Сазонов А., Звягинцев В. «Биологический пожар» соснового леса // Лесное и охотничье хозяйство, 2016. № 6. С. 9–13.

4. Сазонов А., Звягинцев В. Как тушить «биологический пожар»? // Лесное и охотничье хозяйство. 2016. № 8. С. 26–32.

5. Сазонов А. А., Звягинцев В. Б., Кухта В. Н., Тупик П. В. Практическое руководство № 1. Ведение лесного хозяйства в условиях короедного усыхания сосны, Минск: БГТУ, 2017. 11 с.

6. Кухта В. Н., Сазонов А. А. Жизненный цикл и параметры микропопуляций вершинного короеда *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (*Colroptera: Curculionidae: Scolytinae*) в сосняках Белорусского Полесья // X чтение памяти О. А. Катаева: материалы Междунар. конф. Санкт-Петербург, 22–25 окт. 2018 г. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. Т. 1. С. 57–58.

7. Кухта В. Н., Сазонов А. А., Бабуль Д. А. Применение порубочных остатков в качестве ловчего материала на сосновых вырубках // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2 (234). С. 100–108.

8. Севницкая Н. Л., Помаз Г. М., Короткевич Е. А., Тесленко К. Э. Популяционные показатели доминирующих ксилофагов в порубочных остатках на вырубках усыхающих сосновых насаждений // Лесное хозяйство: материалы 84-й науч.-техн. конф., Минск, 03–14 февр. 2020 г. Минск: БГТУ, 2020. С. 79–81.

9. Санитарные правила в лесах Республики Беларусь: утв. постановлением М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 19.12.2016 г. № 79, изм. от 05.03.2019 г. № 6, изм. от 17.12.2020 г. № 25.

10. Коцур А. Альтернатива огню // Лесное и охотничье хозяйство. 2018. № 6. С. 10–13.

11.Тарасов П. А. Бакшеева Е. О., Иванов В. А. Исследование влияния мульчирования сплошной вырубки на температуру почвы // Вестник КрасГАУ. № 8. 2015. С. 75–80.

12. Мозолевская Е. Г., Катаев О. А., Соколова Э. С. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесная пром-сть, 1984. 152 с.

13. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов, родентицидов и феромонов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. РУП «Институт защиты растений»; под ред. Л. И. Трепашко. Прилуки, 2009. 318 с.

14. Севницкая Н. Л., Помаз Г. М. Динамика численности доминирующих ксилофагов в различных фракциях порубочных остатков на вырубках усыхающих сосновых насаждений // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Института леса НАН Беларуси. Вып. 80. 2020. С. 274–283.

15. Помаз Г. М. Оценка численности вершинного короеда в порубочных остатках после применения лесной фрезы AHWI M450 на вырубках усыхающих сосняков // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Института леса НАН Беларуси. Вып. 79. 2019. С. 275–281.

References

1. Sazonov A. A., Kukhta V. N., Tapchevskaya V. A. Outbreak of mass reproduction of the apical bark beetle (Ips acuminatus (Gyllenhal, 1827) Scolytinae, Coleoptera) in the forests of Belorussian Polesye. *Sbornik statey III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Itogi i perspektivy razvitiya entomologii v vostochnoy Evrope"* [Collection of articles of the II International scientific-practical conference "Results and procpects for the development of entomology in Eastern Europe"]. Minsk, Varaksin A. N. Publ., 2017, pp. 366–378 (In Russian).

2. *Obzor lesopatologicheskogo i sanitarnogo sostoyaniya lesnogo fonda Respubliki Belarus' za 2019 god i prognoz razvitiya patologicheskikh protsessov na 2020 god* [Review of the forest pathology and sanitary state of the forest fund of the Republic of Belarus for 2019 and the forecast of the development of pathological processes for 2020]. Minsk, Gosudarstvennoye uchrezhdeniye po zashchite i monitoringu lesa "Bellesozashchita" Publ., 2020. 70 p.

3. Sazonov A., Zvyagintsev V. "Biological fire" of a pine forest. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2016, no. 6, pp. 9–13 (In Russian).

4. Sazonov A., Zvyagintsev V. How to extinguish a "biological fire"? *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2016, no. 8, pp. 26–32 (In Russian).

5. Sazonov A. A., Zvyagintsev V. B., Kukhta V. N., Tupik P. V. *Prakticheskoye rukovodstvo № 1. Vedeniye lesnogo khozyaystva v usloviyakh koroyednogo usykhaniya sosny* [Practical guide No. 1. Forest management in conditions of bark-borne pine shrinkage]. Minsk, BGTU Publ., 2017. 11 p.

6. Kukhta V. N., Sazonov A. A. Life cycle and parameters of micropopulations of the *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the pine forests of the Belarusian Polesie. *Materialy Mezhdunar. konf. "X chteniye pamyati O. A. Katayeva"* [Materials International conf. "X Reading in memory of O. A. Kataev"]. St. Petersburg, SPb GLTU Publ., 2018, pp. 57–58 (In Russian).

7. Kukhta V. N., Sazonov A. A., Babul' D. A. Application of logging residues as trap material on pine felling. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2021, no. 2 (234), pp. 100–108 (In Russian).

8. Sevnitskaya N. L., Pomaz G. M., Korotkevich E. A., Teslenko K. E. Population indicators of the dominant xylophagous insects in felling residues on the cutting down of dying-off pine stands. *Materialy 84-y nauch.-tekhn. konf. "Lesnoye khozyaystvo"* [Materials of the 84th scientific-technical conference "Forestry"]. Minsk, BGTU Publ., 2020, pp. 82–84 (In Russian).

9. *Sanitarnyye pravila v lesakh Respubliki Belarus'. Utv. Postanovleniyem Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' ot 19.12.2016 g. № 79, izmeneniye (ot 05.03.2019 g. № 6), izmeneniye (ot 17.12.2020 g. № 25)* [Sanitary rules in the forests of the Republic of Belarus. Approved by the resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus of 19.12.2016 № 79, changes from 05.03.2019, № 6, changes from 17.12.2020 № 25]. Minsk, 2016. 21 p.

10. Kotsur A. Alternative to fire. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2018, no. 6, pp. 10–13 (In Russian).

11. Tarasov P. A., Baksheeva E. O., Ivanov V. A. Research of the clear cut mulching influence on the soil temperature. *Vestnik KrasGAY* [Bulletin KrasASU], 2015, no. 8, pp. 75–80 (In Russian).

12. Mozolevskaya E. G., Kataev O. A., Sokolova E. S. *Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya ochagov stvolovykh vrediteley i bolezney lesa* [Methods of forest pathology examination of foci of stem pests and forest diseases]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 152 p.

13. Trepashko L. I. *Metodicheskiye ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam insektitsidov, akaritsidov, mollyuskotsidov, rodentitsidov i feromonov v sel'skom khozyaystve* [Guidelines for registration tests of insecticides, acaricides, molluscocides, rodenticides and pheromones in agriculture]. Priluki, RUP "Institut zashchity rasteniy" Publ., 2009. 318 p.

14. Sevnitskaya N. L., Pomaz G. M. Dynamics of the abundance of the dominant xylophagous insects in various fractions of felling residues on the cutting down of dying-off pine stands. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi "Problemy lesovedeniya i lesovodstva"* [Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forestry Institute "Problems of forest science and forestry"]. Gomel', 2020, no. 80, pp. 274–283 (In Russian).

15. Pomaz G. M. Assessment of the number of the *Ips acuminatus* Gyll. in the logging residues after the use of the mulcher AHWI M450 on felling drying pine stands. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi "Problemy lesovedeniya i lesovodstva"* [Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forestry Institute "Problems of forest science and forestry"]. Gomel', 2019, no. 79, pp. 275–281 (In Russian).

Информация об авторах

Усеня Владимир Владимирович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

Севницкая Наталья Леонидовна – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией проблем восстановления, защиты и охраны лесов. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: n.sevnickaja@tut.by

Помаз Галина Михайловна – научный сотрудник лаборатории проблем восстановления, защиты и охраны лесов. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: galina-gomel@rambler.ru

Information about the authors

Usenya Vladimir Vladimirovich – Corresponding Member of the National Academy Seiences of Belarus, DSc (Agriculture), Professor, Deputy Director for Scientific Work. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

Sevnitskaya Natal'ya Leonidovna – PhD (Biology), Head of the Laboratory of Problems of Restoration, Protection and Conservation of Forests. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: n.sevnickaja@tut.by

Pomaz Galina Mikhaylovna – researcher, the Laboratory of Problems of Renewal, Protection and Forest Conservation. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: galina-gomel@rambler.ru

Поступила 15.03.2021

УДК 630*4

В. В. Усеня, Н. С. Блинова
Институт леса Национальной академии наук Беларуси

МОНИТОРИНГ ЧИСЛЕННОСТИ УСАЧЕЙ РОДА *MONOCHAMUS* С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРОМОННОГО ПРЕПАРАТА «МОНВАБОЛ» В ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

Проведены регистрационные испытания в хвойных насаждениях лесного фонда Гомельского ГПЛХО отечественного феромонного препарата «МОНВАБОЛ», предназначенного для осуществления феромонного надзора за усачами рода *Monochamus*. По результатам регистрационных испытаний, которые свидетельствуют о его высокой аттрактивной активности, препарат феромонный «МОНВАБОЛ» включен в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» для использования в лесном фонде с целью мониторинга численности усачей рода *Monochamus*. Получено Удостоверение № 4767 о государственной регистрации препарата, выданное ГУ «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений».

На основании проведенных исследований разработан метод феромонного мониторинга и оценки численности усачей рода *Monochamus* с использованием ловушки для отлова усачей рода *Monochamus* (ТУ BY 100984088.007-2020) и препарата феромонного «МОНВАБОЛ». Метод определяет способ их применения, лесные насаждения для мониторинга, рекомендуемые сроки проведения и норму расхода, ориентировочные критерии для оценки численности усачей в феромонных ловушках.

Применение данного метода в лесозащитной практике позволяет оперативно осуществлять контроль численности и распространения вредителей в хвойных насаждениях Беларуси.

Ключевые слова: хвойные насаждения, усачи рода *Monochamus*, препарат феромонный «МОНВАБОЛ», аттрактивная активность, регистрационные испытания, метод мониторинга численности.

Для цитирования: Усеня В. В., Блинова Н. С. Мониторинг численности усачей рода *Monochamus* с применением феромонного препарата «МОНВАБОЛ» в хвойных насаждениях // Труды БГТУ, Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 164–169.

V. V. Usenya, N. S. Blinova
Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus

MONITORING OF THE NUMBER OF LONGHORN BEETLES OF THE GENUS *MONOCHAMUS* WITH THE APPLICATION OF THE PHEROMONE PREPARATION MONVABOL IN CONIFEROUS PLANTS

The registration tests of the domestic pheromone drug “MONVABOL” were carried out in coniferous stands of forest fund of the Gomel State Production Forestry Association. The pheromone drug “MONVABOL” is intended for implementation of pheromone surveillance of longhorn beetles of the genus *Monochamus* and is characterized by high attractive activity. Based on the results of the registration tests, the pheromone drug “MONVABOL” was included in the State Register of the Plant Protection Products (Pesticides) and Fertilizers, Permitted for Use on the Territory of the Republic of Belarus for use in forest fund in order to monitor the number of longhorn beetles of the genus *Monochamus*. The Certificate No. 4767 on the state registration of the drug, issued by the State Institution “Main State Inspection for Seed Production, Quarantine and Plant Protection”, was received.

Based on the research, the method for pheromone monitoring and evaluation of number of longhorn beetles of the genus *Monochamus* was developed using the trap for catching longhorn beetles of the genus *Monochamus* (TU BY 100984088.007-2020) and the pheromone drug “MONVABOL”. The method determines the process of their application; forest stands for monitoring; recommended timing and consumption rate; indicative criteria for evaluation of number of longhorn beetles in pheromone traps.

The use of this method in forest protection practice allows to promptly carry out control of number and distribution of pests in coniferous plantations of Belarus.

Key words: coniferous plantations, longhorn beetles of the genus *Monochamus,* pheromone preparation “MONVABOL”, attractive activity, registration tests, method of number monitoring.

For citation: Usenya V. V., Blinova N. S. Monitoring of the number of longhorn beetles of the genus *Monochamus* with the application of the pheromone Preparation MONVABOL in coniferous plants. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 164–169 (In Russian).

Введение. Лесистость территории Республики Беларусь составляет 39,9%. В видовом составе лесов преобладают хвойные породы (58,6%), в том числе сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*) – 49,2% и ель европейская (*Picea abies (L.) Karst*) – 9,4%.

Усачи рода *Monochamus* являются как физиологическими вредителями деревьев хвойных пород, так и техническими. Повреждая неокоренные лесоматериалы во время заготовки, хранения и транспортировки, они причиняют значительный материальный ущерб, снижая качество древесины. В процессе дополнительного питания взрослые жуки усачей повреждают кору на верхушечных побегах живых, в том числе и совершенно здоровых деревьев, вызывая их усыхание [1–4]. Кроме этого, усачи рода *Monochamus* являются основными переносчиками сосновой стволовой нематоды (*Bursaphelenchus xylophilus*), включенной в перечень карантинных вредных организмов ряда стран Европы и Азии.

Четыре вида усачей рода *Monochamus*, встречающихся в лесном фонде Беларуси (черный сосновый усач *M. galloprovincialis*, черный бархатно-пятнистый усач *M. saltuarius*, малый еловый усач *M. sutor* и большой черный еловый усач *M. urussovi*), включены в Единый перечень карантинных объектов ЕЭС как «карантинные вредные организмы, ограниченно распространенные на территории Евразийского экономического союза» [5, 6].

В связи с этим требуется лесопатологический мониторинг за усачами рода *Monochamus*, выявление очагов их массового размножения и оценка численности. Применение феромонов позволяет повысить точность их учета и прогнозирования, обосновать правильность назначаемых лесозащитных мероприятий.

Основная часть. Феромонный надзор за усачами рода *Monochamus* проводится в хвойных насаждениях, ослабленных биотическими и абиотическими факторами, а также в местах хранения неокоренных лесоматериалов хвойных пород.

Для феромонного надзора за усачами рода *Monochamus* разработан отечественный препарат феромонный «МОНВАБОЛ» (ТУ BY 100235722.241-2019), который состоит из двух диспенсеров: верхний диспенсер содержит α-пинен и этанол, нижний диспенсер – ипсенол и моногамол [7, 8].

На основании комплексной токсиколого-гигиенической оценки, проведенной в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены», препарат феромонный «МОНВАБОЛ», в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76, относится к веществам IV класса опасности (малоопасные вещества).

Согласно заключению РУП «Научно-практический центр гигиены», препарат феромонный «МОНВАБОЛ» соответствует Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам), подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утв. Решением Комиссии таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299 (Глава II; Раздел 15 Требования к пестицидам и агрохимикатам).

Регистрационные испытания аттрактивной активности феромонного препарата «МОНВАБОЛ» проведены в 90-летнем сосновом насаждении в лесном фонде Головчицкого лесничества Наровлянского спецлесхоза и 75-летнем еловом насаждении на территории Чечерского лесничества Чечерского спецлесхоза с 25 мая по 27 июля 2021 г.

Ловушки с препаратом феромонным «МОНВАБОЛ» и без феромонных диспенсеров (контроль) на опытных участках хвойных насаждений размещались в однородных лесорастительных условиях. По определенному маршруту вдоль стены леса устанавливались 2 линии, состоящие из 10 ловушек: 5 с препаратом феромонным «МОНВАБОЛ» и 5 контрольных. При этом контрольные ловушки чередовались с ловушками, снабженными феромонными диспенсерами [9].

Таким образом, на каждом из опытных участков хвойных насаждений установлено 10 ловушек с препаратом «МОНВАБОЛ» и 10 контрольных ловушек.

Феромонный препарат, принимаемый в качестве «Эталон», не использовался в связи с тем, что зарегистрированного и применяемого в практике средства для мониторинга усачей рода *Monochamus* в Республике Беларусь не имеется.

Учет вредителей в ловушках проводился через 10 дней. Анализ содержимого приемников ловушек осуществлялся в лабораторных условиях.

Критерием оценки биологической эффективности феромонного препарата «МОНВАБОЛ» являлось количество отловленных экземпляров усачей рода *Monochamus* за период лёта. Количество насекомых в ловушках с феромоном сравнивалось с количеством насекомых данного вида в контрольных ловушках.

Результаты регистрационных испытаний аттрактивной активности препарата феромонного «МОНВАБОЛ» в хвойных насаждениях свидетельствуют о том, что количество жуков усачей рода *Monochamus*, отловленных ловушками с феромонным диспенсером, значительно выше, чем контрольными ловушками (табл. 1).

Таблица 1

Результаты регистрационных испытаний аттрактивной активности препарата феромонного «МОНВАБОЛ» по отношению к жукам усачей рода *Monochamus* в хвойных насаждениях

Лесничество, лесхоз	Вариант	Кол-во ловушек, шт.	Кол-во отловленных жуков, экз.
Головчицкое л-во, ГСЛХУ «Наровлянский спецлесхоз»	«МОНВАБОЛ»	10	1156
	Контроль	10	4
	$НСР_{05}$		8,73
Чечерское л-во, ГСЛХУ «Чечерский спецлесхоз»	«МОНВАБОЛ»	10	827
	Контроль	10	3
	$НСР_{05}$		12,2

На протяжении периода наблюдений в сосновом насаждении ловушками с феромоном отловлено 1156 экз. черного соснового усача (*Monochamus galloprovincialis*), что в 289 раз выше, чем контрольными ловушками – 4 экз.

В еловом насаждении ловушками с феромоном отловлено 827 экз. усачей рода *Monochamus* (малый еловый (*M. sutor*) – 517 экз., большой черный еловый (*M. urussovi*) – 310 экз.), что в 275 раз больше, чем контрольными – 3 экз.

В ловушки привлекалось незначительное количество других видов насекомых, в том числе усача спондила короткоусого (*Spondylis buprestoides*) – 38 экз., усача комлевого бурого (*Arhopalus rusticus*) – 13 экз. Энтомофагов и других полезных насекомых (пчел и шмелей) в ловушках не обнаружено.

По результатам регистрационных испытаний препарат феромонный «МОНВАБОЛ» внесен в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь», для использования в лесном фонде Республики Беларусь с целью мониторинга численности усачей рода *Monochamus* (удостоверение о государственной регистрации № 4767, номер государственной регистрации 09-0028 от 16.12.2020 г.).

Институтом леса НАН Беларуси на основании проведенных исследований разработан метод феромонного мониторинга и оценки численности усачей рода *Monochamus* в хвойных насаждениях с использованием ловушки для отлова усачей рода *Monochamus* (ТУ BY 100984088.007-2020) и препарата феромонного «МОНВАБОЛ» [10].

Ловушки с феромонным препаратом должны использоваться преимущественно в лесах, расположенных на особо охраняемых природных территориях, выполняющих рекреационно-оздоровительные, защитные, природоохранные и другие экологические функции; имеющих научное и историко-культурное значение, в которых проведение других санитарно-оздоровительных мероприятий не допускается или ограничено [11, 12].

Для феромонного надзора за усачами рода *Monochamus* используется четырехконусная ловушка, изготовленная из коричневой пленки ПЭТФ, в которой крепление приемного стакана осуществляется при помощи деревянной подложки и крепежной ленты.

Для проведения мониторинга численности усачей рода *Monochamus* в хвойных насаждениях осуществляется подбор хорошо освещенных участков древостоев.

В связи с тем, что лёт усачей рода *Monochamus* начинается в конце мая, а массовый наблюдается в июне – июле [13–15], ловушки, снабженные феромоном, размещаются в хвойных насаждениях до начала лёта (в третьей декаде мая). Феромонный надзор проводится до конца июля.

Срок размещения ловушек может корректироваться в зависимости от погодных условий и температурного режима, которые обусловливают начало лёта насекомых.

Феносигналом лёта черного соснового усача и малого черного елового усача может служить цветение малины [2, 11, 12].

Необходимо отметить, что при извлечении диспенсеров, содержащих компоненты феромона, из фольгопленового пакета для размещения их в ловушки, целостность полиэтиленовых пакетов, в которые помещен носитель (губчатая салфетка), не должна нарушаться.

Диспенсеры к ловушке крепятся с помощью скрепок: верхний – над первым конусом ловушки, нижний – между третьим и четвертым конусами.

Ловушки, снабженные феромоном, размещаются вдоль стены леса или на не покрытых лесом участках (поляны, противопожарные разрывы, вдоль вырубок и т. п.), при этом расстояние до живых деревьев кормовых пород составляет 3–6 м.

Основной способ крепления ловушек – на П-образной опоре. Для предотвращения раскачивания ветром ловушка фиксируется боковыми растяжками.

Приемник ловушки (пластиковый стакан 0,5 л) должен находиться на высоте 1,0–1,5 м от поверхности почвы.

С целью исключения возможности выползания жуков по стенкам приемника, а также замедления разложения пойманных насекомых, в него заливается 3%-ный раствор соли NaCl с добавлением жидкого мыла (объем заполнения жидкостью 0,5 стакана).

Учет жуков в ловушках проводится 1 раз в 7–10 дней, при их высокой численности 1 раз в 5 дней. При проведении учетов жидкость в приемнике-ловушке заменяется на свежую.

При мониторинге численности усачей рода *Monochamus* используется 1 ловушка с феромоном на 10 га хвойных насаждений.

Для оценки численности вредителя результаты учета сравнивают с ориентировочными критериями для оценки численности усачей рода *Monochamus* в феромонных ловушках, разработанными ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» (табл. 2).

Таблица 2

Ориентировочные критерии для оценки численности усачей рода *Monochamus* в хвойных насаждениях с использованием феромонных ловушек

Количество отловленных жуков усачей за весь период (III декада мая – июль), экз. в среднем на 1 ловушку	Плотность популяции
До 30	Низкая
31–300	Средняя
Более 300	Высокая

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований разработан метод мониторинга численности и распространения усачей рода *Monochamus* в хвойных насаждениях в лесном фонде Беларуси на основе использования отечественного феромонного препарата «МОНВАБОЛ».

Внедрение в практику лесозащиты метода феромонного надзора за усачами рода *Monochamus* позволяет повышать оперативность и точность их учета и территориального распространения в лесном фонде, назначать и проводить лесозащитные мероприятия.

Список литературы

1. Лесная энтомология: учебник / Е. Г. Мозолевская [и др.]; под ред. Е. Г. Мозолевской. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 416 с.

2. Павлов В. С. Лесохозяйственное значение усачей рода Monochamus на Северо-Западе Российской Федерации: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. СПб., 2009. 21 с.

3. Плавильщиков Н. Н. Фауна СССР. Жесткокрылые. Т. XXIII. Вып. 1. Жуки-дровосеки. Ч. 3., М.-Л.: Изд. АН СССР, 1958. 592 с.

4. Бенедиктов А. А. Жуки-усачи рода Monochamus // Лесной бюллетень. 2007. № 34. С. 34–35. URL: http://old.forest.ru/rus/bulletin/34/8.html (дата обращения: 6.02.2020).

5. Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза (в ред. решения Совета Евразийской экономической комиссии от 30.03.2018 № 25). URL: https://ggiskzr.by/images/Karantin2025.pdf (дата обращения: 21.03.2019).

6. Александрович О. Р., Лопатин И. К., Писаненко А. Д., Цинкевич В. А., Снитко С. М. Каталог жесткокрылых (Coleoptera, Insecta) Беларуси. Минск: Фонд фундаментальных исследований Респ. Беларусь, 1996. 103 с.

7. Разработка феромонных композиций усачей рода *Monochamus* и оценка их аттрактивной активности / В. В. Усеня [и др.] // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Вып. 79. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2019. С. 294–302.

8. Усеня В. В., Блинова Н. С., Помаз Г. М. Аттрактивная активность феромонных композиций для мониторига численности усачей рода *Monochamus* в хвойных насаждениях Беларуси // Лесное хозяйство: материалы 84-й науч.-техн. конф., Минск, 03–14 февр. 2020 г. Минск: БГТУ, 2020. С. 88–89.

9. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов, родентицидов и феромонов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. РУП «Институт защиты растений»; под ред. Л. И. Трепашко. Прилуки, 2009. 318 с.

10. Усеня В. В., Блинова Н. С., Зур А. С. Метод феромонного мониторинга усачей рода *Monochamus* // Лесное хозяйство: материалы 85-й науч.-техн. конф., Минск, 01–13 февр. 2021 г. Минск: БГТУ, 2021. С. 148–149.

11. Феромоны жуков-усачей рода *Monochamus* (Cerambycidae: Lamiinae) и возможность их применения в защите леса /К. В. Лебедева [и др.] // Агрохимия. 2013. № 12. С. 45–55.

12. Применение феромонов вершинного и шестизубчатого короедов и черных усачей – соснового и малого елового / А. Д. Маслов [и др.]. Пушкино: ВНИИЛМ, 2014. 25 с.

13. Никитский Н. Б., Ижевский С. С. Жуки-ксилофаги – вредители древесных растений России. М.: Лесная пром-сть, 2005. Т. 2. 120 с.

14. Синадский Ю. В. Сосна. Ее вредители и болезни. М.: Наука, 1983. 344 с.

15. Исаев А. С., Киселев В. В., Овчинникова Т. М. Черный пихтовый усач. Новосибирск: Наука, 1988. С. 168.

References

1. Mozolevskaya E. G., Selikhovkin A. V., Izhevskiy S. S. i dr. *Lesnaya entomologiya* [Forest entomology]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr "Akademiya" Publ., 2010. 416 p.

2. Pavlov V. S. *Lesokhozyaystvennoye znacheniye usachey roda Monochamus na Severo-Zapade Rossiyskoy Federatsii. Avtoref. dis. … kand. s.-kh. nauk* [Forestry significance of longhorn beetles of the genus Monochamus in the North-West of the Russian Federation. Abstract of thesis PhD (Agriculture Science)]. St. Petersburg, 2009. 21 p.

3. Plavil'shhikov N. N. *Fauna SSSR. Zhestkokrylyye. T. XXIII, vyp. 1. Zhuki-drovoseki* [Fauna of the USSR. Beetles. Vol. XXIII, issue 1. Lumberjack beetles]. Moscow – Leningrad, Izd. AN SSSR Publ., 1958. 592 p.

4. Benediktov A. A. Zhuki-usachi roda *Monochamus* [Longhorn beetles of the genus *Monochamus*]. *Lesnoy byulleten'* [Forest Bulletin], 2007, no. 34, pp. 34–35. Available at: http://old.forest.ru/rus/bulletin/34/8.html (accessed 06.02.2020).

5. *Edinyy perechen' karantinnykh ob"yektov Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza* [A unified list of quarantine objects of the Eurasian Economic Union]. Available at: https://ggiskzr.by/images/Karantin2025.pdf (accessed 21.03.2019).

6. Aleksandrovich O. R., Lopatin I. K., Pisanenko A. D., Cinkevich V. A., Snitko S. M. *Katalog zhestkokrylykh (Coleoptera, Insecta) Belarusi* [Catalog of beetles (*Coleoptera*, Insecta) of Belarus]. Minsk, Fond fundamental'nykh issledovaniy Respubliki Belarus' Publ., 1996. 103 p.

7. Usenya V. V., Maslov N. V., Astashko D. A., Blinova N. S., Adamovich Yu. I., Teglenkov E. A. Development of pheromone compositions by agreus of the genus Monochamus and evaluation of their attractive activity. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of Silviculture and Forestry]. Gomel', 2019, vol. 79, pp. 294–302 (In Russian).

8. Usenya V. V., Blinova N. S., Pomaz G. M. Attractive activity of pheromone compositions for monitoring of number of longhorn beetles of the genus *Monochamus* in coniferous stands of Belarus. *Materialy 84-y nauch.-tekhn. konf. "Lesnoye khozyaystvo"* [Materials of the 84th scientific-technical conference "Forestry"]. Minsk, 2020, pp. 88–89 (In Russian).

9. *Metodicheskiye ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam insektitsidov, akaritsidov, mollyuskotsidov, rodentitsidov i feromonov v sel'skom khozyaystve* [Guidelines for registration tests of insecticides, acaricides, molluscocides, rodenticides and pheromones in agriculture]. Priluki, RUP "Institut zashchity rasteniy" Publ., 2009. 318 p.

10. Usenya V. V., Blinova N. S., Zur A. S. Method of pheromone monitoring of longhorn beetles of the genus *Monochamus*. *Materialy 84-y nauch.-tekhn. konf. "Lesnoye khozyaystvo"* [Materials of the 85th scientific-technical conference "Forestry"]. Minsk, 2020, pp. 148–149 (In Russian).

11. Lebedeva K. V., Vendilo N. V., Pletnev V. A., Maslov A. D., Komarova I. A., Frolova L. L., Kuchin A. V., Kamyshova L. V. Pheromones of beetles -white beetles of the genus Monochamus (Cerambycidae: Lamiinae) and the possibility of their use in forest protection. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2013, no. 12, pp. 45–55 (In Russian).

12. Maslov A. D., Komarova I. A., Vendilo N. V., Lebedeva K. V., Kamyshova L. V. *Primeneniye feromonov vershinnogo i shestizubchatogo koroyedov i chernykh usachey – sosnovogo i malogo elovogo* [The use of pheromones of the small spruce and large pine bark beetles and black barbel – pine and small spruce]. Pushkino, VNIILM Publ., 2014. 25 p.

13. Nikitskiy N. B., Izhevskiy S. S. *Zhuki-ksilofagi – vrediteli drevesnykh rasteniy Rossii.* [Xylophagous beetles – pests of woody plants in Russia]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 2005. 120 p.

14. Sinadskiy Yu. V. *Sosna. Eye vrediteli i bolezni* [Pine. Its pests and diseases]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 344 p.

15. Isaev A. S., Rozhkov A. S., Kiselev V. V. *Chernyy pikhtovyy usach* [Black fir barbel]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1988. 271 p.

Информация об авторах

Усеня Владимир Владимирович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

Блинова Наталья Сергеевна – научный сотрудник лаборатории проблем восстановления, защиты и охраны лесов. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: zachita-lesa@rambler.ru

Information about the authors

Usenya Vladimir Vladimirovich – Corresponding Member of the National Academy Seiences of Belarus, DSc (Agriculture), Professor, Deputy Director for Scientific Work. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

Blinova Natal'ya Sergeyevna – researcher, the Laboratory of Problems of Renewal, Protection and Forest Conservation. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: zachita-lesa@rambler.ru

Поступила 12.03.2021

ТУРИЗМ И ЛЕСООХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО
TOURISM AND FOREST HUNTING

УДК 504.54

В. Л. Андреева
Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка

ИЗУЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ КРИТЕРИЕВ ЭСТЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЛАНДШАФТОВ

Аттрактивность, или эстетическая привлекательность, ландшафта определяется посредством красоты местности, ее привлекательности для человека и служит для сохранения психофизического здоровья и полноценного отдыха людей.

Туристический потенциал территории определяется в том числе по наличию природных объектов и явлений, совокупности средств и условий для формирования туристского продукта. Следовательно, эстетическая оценка привлекательности ландшафтов позволяет выделить наиболее экономические и экологические перспективные территории для развития сферы туризма и рекреации. В статье рассматриваются критерии оценки привлекательности ландшафтов с целью формирования туристских объектов и услуг. Дана история изучения эстетики ландшафта, указаны особенности двух ее направлений и современные парадигмы. Описаны понятия аттрактивности и репеллентности ландшафта. Изложены основные характеристики критериев оценки эстетической привлекательности: степень разнообразия и уникальности ландшафтов, компоненты пейзажной композиции, рельефа, климата, внутренних вод, почвенно-растительного покрова. Ведущим критерием эстетической привлекательности территории является степень ее разнообразия. Живые насыщенные ландшафты всегда привлекали внимание респондентов по сравнению с монотонными однообразными территориями. Приведены примеры визуального (цвет), тактильного, одорического (запах), звукового представлений информации.

Ключевые слова: пейзажно-эстетическая привлекательность, оценка эстетической привлекательности ландшафтов, аттрактивность, эстетическая география, туристский потенциал.

Для цитирования: Андреева В. Л. Изучение разнообразия критериев эстетической оценки ландшафтов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 170–178.

V. L. Andreeva
Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

STUDYING A VARIETY OF CRITERIA FOR AESTHETIC EVALUATION OF LANDSCAPES

The attractiveness or aesthetic appeal of a landscape is determined by the beauty of the area, its attractiveness to humans and serves to preserve psycho-physical health and good rest for people.

The tourist potential of a territory is determined, among other things, by the presence of natural objects and phenomena, a set of means and conditions for the formation of a tourist product. Consequently, the aesthetic assessment of the attractiveness of landscapes makes it possible to identify the most economic and ecological promising territories for the development of tourism and recreation.Aesthetic assessment of the attractiveness of landscapes allows to select the most economic and ecological promising territories for the development of tourism and recreation. The article discusses the criteria for assessing the attractiveness of landscapes in order to form tourist facilities and services. The history of the study of landscape aesthetics is given, the features of its two directions and modern paradigms are indicated. The concepts of landscape attractiveness and repellency are described. The characteristics of the criteria for assessing aesthetic attractiveness are stated: the degree of diversity and uniqueness of landscapes, components of landscape composition, relief, climate, inland waters, soil and vegetation cover. The leading criterion for the aesthetic appeal of a territory is the degree of its diversity. Lively saturated landscapes have always attracted the attention of respondents in comparison with monotonous monotonous territories. Examples of visual (color (light), tactile, odoric (smell), sound presentation of information) are given.

Key words: landscape and aesthetic attractiveness, assessment of the aesthetic attractiveness of landscapes, attractiveness, aesthetic geography, tourist potential.

For citation: Andreeva V. L. Studying a variety of criteria for aesthetic evaluation of landscapes. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 170–178 (In Russian).

Введение. В современном развитии мирового хозяйства отмечается увеличение номенклатуры природных ресурсов и их объемов. Наметившийся деструктивный характер изменений окружающей среды требует пересмотра отношения к природе как исключительно ресурсному объекту экономики, представления о ее роли как сферы жизнедеятельности человека. Устойчивое развитие территории определяется природно-ресурсным потенциалом, его целевой направленностью и эффективностью использования.

Одно из приоритетных направлений в экономике – сфера туризма и рекреации. Туристический потенциал территории определяется по наличию природных и культурно-исторических объектов и явлений, совокупности средств и условий для формирования туристского продукта [1]. На оценку потенциала влияют как предложение, зависящее от численности и качества объектов туризма и степени развитости туристской инфраструктуры территории, так и спрос, непосредственно связанный с уже созданным туристским продуктом и уровнем развития экономически обоснованного туризма [2].

Отбор объектов для развития сферы туризма и рекреации связан с их уникальностью, сохранностью, ценностью (научной, художественной, культурной, социальной и т. п.), доступностью, емкостью (запасом) ресурсов окружающей среды [3]. Специфика туристских ресурсов определяется их привлекательностью (аттрактивностью), которая связана с воздействием на живые организмы «визуальных, химических и тактильных стимулов», влияющих на объект по мере его приближения [4]. Аттрактивность зависит от эмоционального, физического, психофизиологического состояния человека.

Влияют на нее следующие факторы: экономические (уровень жизни, степень развития страны, обменный курс валюты и т. п.) и политические (политическая ситуация, стабильность и т. п.), инфраструктура (степень ее развитости), социокультурные причины (обычаи, жизненные ценности, религиозность, доброжелательность местных жителей) и др.

Впервые в 30-е гг. XX в. А. Геттнер указал на необходимость покомпонентной эстетической оценки ландшафта – «картины ландшафта в ее формах и красках», при этом он говорил, что «ландшафт, созданный только одной природой, может иметь эстетическую ценность совершенно так же, как и ландшафт исторический». В его работе следует обратить внимание на вопрос объективности оценок привлекательности ландшафтов, поскольку тот возможен с какой-нибудь точки зрения [5].

Позднее в эстетической географии, начиная с работы [6], наметилась дифференциация оценки привлекательности ландшафтов по объективистскому и субъективистскому направлениям.

Первое направление основывается на выявлении физиономических критериев аттрактивности ландшафта и присутствует в немецкой научной школе, а также типично для российских научных публикаций.

Второй вариант оценки распространен в европейских (пейзажной французской и англо-саксонской), в американской научных школах и основан на выяснении общественного мнения и предпочтений крупных групп населения (экспертов) численностью более 50 человек, у различных социальных, этнических, профессиональных, возрастных и т. п. групп людей [7, 8, 9].

С 80-х гг. XX в. в теории исследования восприятия ландшафта различают четыре парадигмы: экспертная (оценка количественных компонентов ландшафта специалистами), когнитивная (определяется полученным опытом и ожиданиями на ближайшее будущее наблюдателя), эмпирическая (основывается на чувствительном опыте познания) и психофизическая (выполняется посредством тестирование групп людей на предмет их психофизиологического восприятия и суждения об окружающей среде) [10, 11, 12]. По мнению авторов [13], преимущество последнего подхода для выполнения эстетической оценки заключается в том, что он позволяет учитывать эволюционные и культурные интерпретации ландшафтной эстетики.

Значительная доля исследователей указывают на необходимость всесторонней интегральной характеристики привлекательности ландшафтов [13–16]. Однако единой методики оценки аттрактивности до сих пор не существует [17], как и нет обоснованного выбора критериев для ее проведения.

Основная часть. Изучение разнообразия критериев оценки привлекательности следует начинать с выделения классификационной принадлежности ландшафта. Изначально определяется его генезис (природный, антропогенный), возраст, геоморфологическая принадлежность (равнинный, горный); преобладающая растительность (лесной, болотный, водный и т. п.),

использование в народном хозяйстве (лесохозяйственный, рекреационный и т. п.), степень антропогенной трансформации (агроландшафт, техногенный).

Одновременно с аттрактивностью учитываются репеллентные характеристики. К ним относятся различного рода природные аномалии: тектонические разломы, химические загрязнения, эрозионно опасные участки, осыпи, высокая концентрация особо опасных метеорологических явлений (туманы, ураганный ветер и др.), наличие подводных течений, ареалы распространения ядовитых растений и животных и т. п.

Значение показателей уровня привлекательности ландшафта понижается при наличии сильных антропогенных изменений (нарушение целостности в результате эрозионных процессов, загрязнений бытовыми отходами).

Оценка аттрактивности ландшафтов есть результат изучения пейзажа, пейзажных образов, создания психоэмоциональных впечатлений. Процесс анализа носит черты сознательного отбора, осуществляемого на основе количественных и качественных показателей (критериев) эстетической привлекательности ландшафтов.

Территориально пейзаж соответствует географической местности и собственно ландшафту [18].

В настоящее время ландшафтно-эстетические исследования осуществляются с использованием мелко- и среднемасштабных карт, например, оценка привлекательности Усть-Коксинского района Республики Алтай, Республики Мордовии, Республики Армения [14, 19], однако рекомендуемый масштаб карт для полевой ландшафтной съемки составляет 1 : 10000 – 1 : 25000 [20].

Анализ литературы показал: большинство авторов сходятся во мнении, что ведущим критерием эстетической привлекательности территории является степень его разнообразия. Яркие насыщенные пейзажи всегда привлекали внимание респондентов по сравнению с монохромными однообразными территориями. Степень уникальности туристских ресурсов также относится к приоритетным критериям для оценки их аттрактивности. Этот факт объясняют тем, что подобного рода объекты уже представляют собой своеобразные символы территории.

Композиционное устройство пейзажа определяется количеством узлов, осей, наличием пейзажных кулис и глубиной перспектив [11].

Композиционные узлы и оси создают визуальный акцент в ландшафте, делая его узнаваемым и приятным для восприятия. Отмечают, что количество композиционных узлов должно соответствовать 4–5 единицам, меньшая или большая сумма снижает их степень привлекательности [11, 14].

Присутствие пейзажных кулис, создающих эффект рамки, формирует эффект наполненности пространства, его «законченности». Наибольший эстетический эффект достигается при наличии парных кулис, окамляющих пейзаж с двух сторон горизонта.

Привлекательность пейзажа зависит от глубины перспективы, протяженности обозреваемого пространства и дальности вида, открывающихся из видовой точки.

Глубину пейзажной перспективы определяют по местоположению видовых точек. Их размещение осуществляется с помощью пейзажной композиции: фронтальной (соответствующей одноплановому пейзажу), объемной (включает несколько пейзажей) и глубинно-пространственной (имеет далекую перспективу) [11, 21].

В европейской литературе относительно схожий подход: здесь выделяют непосредственно передний план (до 90 м, хорошо просматриваются мелкие объекты ландшафта, определяется их текстура, звуки, запахи); передний план (различимы сучья деревьев, скопления цветов, крики птиц среднего размера, определяется умеренный ветер, улавливаются запахи леса); средний план (до 7,5 км, различимы отдельные крупные деревья, валуны, цветочные поля), фон (от 7,5 км до линии горизонта, определяются рощи, поляны в лесу).

Для выполнения оценки эстетической ценности пейзажа какой-либо территории изначально необходимо определить местонахождение обзорных (видовых) точек. Различают следующие варианты видовых точек: узкого (с углом менее 30°), секторного типа (30–115°), панорамные (120–240°) и кругового обзора (более 240°) [21]. Обзорные точки подразделяют на точки: ближайшей перспективы, обзор с которой составляет десятки метров; средней перспективы – виды просматриваются на сотни метров; далекой перспективы – до нескольких километров [20].

Согласно исследованию В. А. Николаева [21], свойствами местности, формирующими оценку аттрактивности для Беларуси, являются панорамность, контрастность и детальность, а для горной местности Северной Осетии – композиционность.

Характеристики видовых точек определяются морфометрическими показателями рельефа (относительной высотой, вертикальным и горизонтальным расчленением, экспозицией склонов, уклоном, наличием эрозионной сети и др.), все чаще для их расчета применяют современные геоинформационные системы [22–24]. Набор критериев и шкал оценок для определения аттрактивности у разных авторов существенно отличаются. Например, Т. А. Федорцова [23]

использует в качестве критериев уклон поверхности, вертикальное расчленение, густоту и общий показатель расчленения, при этом диапазон отметок показателей находится от 0 до 5; И. В. Абрамова и С. А. Стенько [26] выделяют в качестве привлекательности ландшафтов абсолютную и относительную высоты, глубину и густоту расчленения, при этом их оценка составляет один – два балла; Б. И. Кочуров и Н. В. Бучинская [27] указывают характер поверхности, форму и экспозицию склонов, выделяя диапазон оценочной шкалы от 0 до 2. К идентичным критериям и шкалам в работе [9] добавлена еще одна категория – «выраженная форма рельефа». У некоторых авторов выделяют комплексный критерий оценки эстетических свойств рельефа – коэффициент расчлененности рельефа [25], контрастности – степени различия между генезисом ландшафтов [8] и интегральным показателем коэффициентом неоднородности. Аттрактивными считаются формы рельефа, созданные эрозионными, карстовыми процессами [8], а также уникальные формы рельефа, например параболические дюны Курской косы в Литве [13].

На долю рельефа при оценке эстетической привлекательности ландшафта приходится почти 1/3 ее часть [28, 20].

Геологические объекты могут быть интересным туристским продуктом как в горной местности, так и на равнине. Среди уникальных геологических объектов в Беларуси приведем пример минералогических и палеонтологических обнажений. К ним относятся горные породы, датируемые палеогеном и неогеном в долине р. Днепр у г. п. Лоев; доломиты девона у пос. Руба (Витебский район); меловые отложения в долине р. Сож, погребенные торфяники и др. Среди геологических объектов выделяются также крупные валуны (Великий камень, Шумилинский район; Чертов камень, Воложинский район), месторождения и разработки полезных ископаемых (Микашевический карьер по добыче гранитов).

На территории республики выявлены практически все отложения от архея до четвертичного периода. Некоторые из них отличаются цветовой гаммой. Так, моренные отложения имеют красновато-бурый оттенок, у озерно-ледниковых глин – полосчатый характер залегания, водно-ледниковые отложения чаще бывают бежевато-желтого оттенка.

При изучении геологических объектов следует учесть следующие особенности территории, на которой они залегают: степень антропогенных и природных рисков, наличие историко-культурных объектов, прямо или косвенно связанных с объектом, культурные особенности коренного населения (традиции и обычаи), степень их уникальности, развитость инфраструктуры [29].

Климатическая привлекательность территории Европы изучалась по климатическим проекциям, полученным на моделях общей и региональной циркуляции атмосферы [30]. Для анализа климатической аттрактивности юга Европейской части России были применены туристический климатический индекс (TCI) и индекс влажности (HI), показатели которых рассчитывались в учетом срочных метеорологических изменений [31].

Среди критериев аттрактивности ландшафтов часто указывают природные водные объекты (озера, реки (прежде всего крупные с долинными комплексами) и искусственные (пруды, водохранилища). Анализ научных публикаций показал, что большинство авторов указывают среди критериев аттрактивности площадь водного зеркала объекта. Максимальный балл аттрактивности (3 балла) занимают водные объекты с площадью свыше 0,51 км^2 [9]. Чаще в работах не указывается площадь зеркала, но встречаются довольно размытые формулировки, например, что она должна быть «не очень большой, чтобы можно было охватить взглядом» [27]. Среди показателей привлекательности чаще выделяют количество крупных рек, густоту речной сети, уклон рек, степень удаленности гидрологического объекта от наблюдателя, скорость течения, морфометрические показатели (глубина, длина, ширина), степень эвтрофности озера [9, 26, 27]. Значение эстетичности усиливается в сочетании с другими компонентами ландшафта, в том числе со снеговым и ледниковым покровом.

Общее впечатление от пейзажа определяется цветовым фоном ландшафта, придающим красочность и выразительность.

Цвет или сочетание цветов влияют на психику и эмоциональное состояние человека, воздействуя на физическом и биохимическом уровнях. Связи между цветом и особенностями окружающей средой закрепились у людей на подсознательном уровне и «работают» в виде ассоциаций [11].

Наибольшее значение для восприятия имеет цвет фона и преобладающие цвета ландшафта, формирующие колористку пейзажа. Усиливают роль привлекательности цветовые вкрапления, увеличивая эффект многообразия структуры и формы ландшафта.

К привлекательным цветам пейзажа относят голубой и зеленый с контрастными проявлениями желтого, оранжевого и белого цвета [32].

В работах, связанных с оценкой аттрактивности растительного покрова, среди заявленных показателей чаще указываются видовой состав,

декоративность, продолжительность цветения; для лесной растительности – возраст, ярусность, медико-биологические характеристики, санитарное состояние, показатель лесистости территории. Максимальное значение оценки лесистости соответствует показателю от 30 до 60% [32], от 20 до 60% [14], от 31 до 60% [9], больше 50% [33] и более 70% (для горных территорий) [29]. По мнению вышеуказанных авторов, пейзажи с такими показателями залесенности не противоречат критерию обзорности и формируют панорамные виды.

Разнообразие видового состава темнохвойно-широколиственных и светлохвойно-мелколиственных древесных растений придают пестроту лесным массивам, напротив мелколиственные леса на месте гарей, темнохвойные древостои с высокой долей валежника обладают репеллентными свойствами [25]. Среди хвойных пород наиболее привлекательные характеристики у кедра, ели, реже – сосны и лиственницы, однако эстетическое предпочтение имеет смешанный характер лесных массивов с участием широколиственных видов. Породный состав леса имеет значение для его эстетической ценности лишь в ближней перспективе. При оценке аттрактивности ландшафта рекомендуют учитывать сезонность, фенофазу, а также время суток. Часто к показателям привлекательности относят количество особо охраняемых природных объектов на изучаемой территории [34]: общее количество, занимаемая плотность, характер распределения.

Большинство (80–90%) информации человек получает со зрением, а остальные (10–20%) приходятся на тактильную (ветер, опадающая листва), одорическую (запах свежескошенной травы), органолептическую (вкус воды) и звуковую коммуникацию (шум прибоя, шелест листьев, гудение комаров) [11, 35, 36, 37]. По мнению авторов [37], для восприятия запаха важны три группы факторов: характеристики запаха (концентрация, летучесть, токсичность, продолжительность воздействия, восприятие запаха, ассоциации), индивидуальные особенности (пол, возраст, профессия, культура, социальный класс, состояние тела, привычки к курению, род занятий) и климатические характеристики окружающей среды (температура и качество воздуха, сила и направление ветра, окружающая среда). Авторами была разработана карта запахов – своеобразный «ароматический портрет» ландшафта, созданный на основе синтеза различных средств выражения: сенсорных, художественных, технологических.

Культурный ландшафт оценивается на основе рассчета насыщенности культурными, археологическими, архитектурными, историко-культурными и памятниками искусства с учетом их категории и статуса охраны [38]. Благодаря интернет пространству и развитию IT-технологий, в последние годы развитие получает «облачный туризм». Среди новейших туристских объектов в ближайшем будущем выступит пространство ретроспективной дополненной реальности. Созданные картосхемы аттрактивности пространства городов ретроспективной дополненной реальности представлены 10-уровневой шкалой, на которой определенному временному периоду отводится 1 балл [39].

Заключение. Выделение уникальных и типичных пейзажей ландшафтов для использования в сфере туризма и рекреации необходимо выполнять на основе оценки их эстетической привлекательности.

Отсутствие четких стандартов учета эстетического потенциала ландшафтов усложняет выполнение сравнительных характеристик объектов.

Оценка эстетической привлекательности может осуществляться на количественной (морфометрической) и качественной (балльной) основе.

Для оценки эстетического потенциала ландшафтов необходимы четкие физические характеристики объектов. Выбор критериев оценок эстетической привлекательности связан напрямую с особенностями территории. Следовательно, для оценки аттрактивности ландшафта необходимо выявить его морфологические, генетические особенности, тип использования.

Разнообразие оценок эстетической привлекательности ландшафта должно включать как общие характеристики пейзажа (эстетической привлекательности: степень разнообразия и уникальности ландшафтов, компоненты пейзажной композиции, его цвет (свет), запах, вкус, звук), так и оценку компонентов ландшафта (литолого-минералогические, геоморфологические, особенности микроклимата, внутренних вод, почвенно-растительного покрова).

Список литературы

1. Дроздов А. В. Основы экологического туризма: учеб. для студентов. М.: Гардарики, 2005. 271 с.

2. Красникова Т. С. Туристический потенциал территории и необходимость его развития // Общество: политика, экономика, право. 2015. № 6. С. 46–48.

3. Кусков А. С., Джаладян Ю. А. Основы туризма: учеб. для студентов. М.: КНОРУС, 2015. 396 с.

4. Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: МСЭ, 1989. 406 с.

5. Геттнер А., Торнеус Е. А., Баранский Н. Н. Эстетическая ценность ландшафта // География. 2006. № 6. URL: https://geo.1sept.ru/article.php?ID=200600612 (дата обращения: 10.03.2021).

6. Daniel T. C., Arthu L. M., Boster R. S. Scenic assessment: An overview // Landscape Planning. 1977. Vol. 4. P. 109–129.

7. Penning-Rowsell E. S. Landscape evolution for development plans // Journal of the Royal Town Planing Inst. 1974, no. 60. P. 930–934.

8. Фролова М. Ю. Оценка эстетических достоинств природных ландшафтов // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. 1994. № 2. С. 12–19.

9. Hrynasiuk A. R., Novosad O. V., Ilyin L. V., Ilyina O. V., Ierko, I. V. Attractiveness of landscapes of Volyn region (Ukraine): theory and practice of evaluation // GeoJournal of Tourism and Geosites. 2021. No. 34(1). P. 56–62. URL: https: //doi.org/10.30892/gtg.34108-619 (accessed 10.03.2021).

10. Zube E. H., Sell J. L., Taylor J.G. Landscape perception: research, application and theory // Landscape Planning. 1982. Vol. 9. P. 11–33.

11. Гродзинський М. Д., Савицька О. В. Естетика ландшафту: навчальний посібник. Київ: Київський університет, 2005. 270 с.

12. Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды: смена парадигм экспериментального исследования // Эпистемология и философия науки. 2006. Вып. 7. № 1. С. 89–92.

13. Urbis A., Povilanskas R., Šimanauskienė R., Taminskas J. Key Aesthetic Appeal Concepts of Coastal Dunes and Forests on the Example of the Curonian Spit (Lithuania) // Water. 2019. No. 11. URL: https://doi.org/10.3390/w11061193 (accessed 10.03.2021).

14. Дирин Д. А., Попов Е. С. Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов: методологический обзор // Известия Алтайского государственного университета. 2010. № 3–2. С. 120–124.

15. Петрова Е. Г., Миронов Ю. В., Аоки Ю. И. Сравнение визуального восприятия и эстетической оценки природных ландшафтов России и Японии: культурные и экологические факторы // Прогноз на Земле и на других планетах. 2015. №. 6. URL: https://doi.org/10.1186/s40645-015-0033-x (дата обращения: 01.03.2021).

16. Горбунов Р. В., Табунщик В. А., Горбунова Т. Ю. Нерешенные теоретические и методологические вопросы при эстетической оценке ландшафтов // Географический вестник. 2020. № 3 (54). С. 6–22.

17. Frank S., Furstb C., Koschkea L., Witta A., Makeschin F. Assessment of landscape aesthetics - Validation of a landscape metrics-based assessment by visual estimation of the scenic beauty // Ecological Indicators. 2013. No. 32. P. 222–231. DOI:10.1016/j.ecolind.2013.03.026.

18. Аткина Л. И., Жукова М. В. Эстетика ландшафта: методические указания. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. URL: http://docplayer.ru/34945510-Elektronnyy-arhiv-ugltu-l-i-atkina-m-v-zhukova-estetika-landshafta.html (дата обращения: 01.03.2021).

19. Сафарян А. А. Туризм в Армении: дисцинация, аттрактивность, информационные ресурсы: автореф. дис. … канд. геогр. наук: 25.00.24 / Пермский гос. исслед. ин-т. Пермь, 2015. 24 с.

20. Кириллова А. В. Рельеф как фактор эстетической привлекательности ландшафта // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2012. № 2. С. 104–108.

21. Николаев В. А. Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн: учеб. пособие. М.: Аспект Пресс, 2005. 176 с.

22. Бибаева А. Ю., Макаров А. А. Применение ГИС для расчета комплексных показателей эстетической оценки ландшафтов // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2018. № 24. С. 17–33.

23. Лось М. А. Природный туристско-рекреационный потенциал ландшафтно-экологической среды: особенности его оценки и рационального использования // Географический вестник. 2013. № 2 (25). С. 104–109.

24. Хворостухин Д. П., Сизова А. Д. Разработка методики оценки аттрактивности обзорной точки с использование ГИС-технологий // Современные проблемы территориального развития. 2017. № 3. С. 12–19.

25. Федорцова Т. А. Методика эстетической оценки экскурсионных ресурсов (объектов и местностей): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11. 00. 02. Минск: БГУ, 1985. 24 с.

26. Абрамова И. В., Стенько С. А. Природный и культурно-исторический потенциал Брестской области для развития экологического туризма // Псковский регионологический журнал. 2017. № 1 (29). С. 76–91.

27. Кочуров Б. И., Бучацкая Н. В. Оценка эстетического потенциала ландшафтов // Юг России: экология, развитие. 2007. № 4. С. 25–33.

28. Лопина Е. М., Корнилов А. Г., Тохтарь В. К. Эстетическая оценка территории ботанического сада НИУ «БелГУ» // Региональные геосистемы. 2013. Вып. 25. № 24 (167). С. 77–82.

29. Корф Е. Д. Критерии оценки туристической аттрактивности геологических объектов горной местности // Евразийский союз ученых. 2014. № 7. С. 7–12.

30. Perch-Nielsen S. L. Future climate resources for tourism in Europe based on daily Tourism Climatic Index // Climatic Change. 2010. Vol. 103. P. 363–381.

31. Рыбак О. О., Рыбак Е. А. Применение климатических индексов для оценки региональных различий туристической аттрактивности // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 121. С. 425–448.

32. Мотошина А. А., Вдовюк Л. Н. Оценка эстетических свойств ландшафтов Тобольского района Тюменской области в рекреационных целях // Географический вестник. 2012. № 4 (23). С. 10–20.

33. Cellmer R., Senetra A., Szczepanska A. The Effect of Environmental Factors on Property Value // FIG Working Week 2012 /Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage / Rome, Italy, 6–10 May 2012. P. 1–13.

34. Намазбаева З. Е., Актымбаева А. С., Сулейменова Н. Ж., Молдагалиева А. Е. Индекс туристской аттрактивности природных ландшафтов административных районов восточно-казахстанской области // Проблемы региональной экологии. 2019. № 3. С. 98–104. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13098.

35. Baczyńska E., Lorenc M. W. , Kaźmierczak U. Procedure for evaluation of the attractiveness of the quarries' landscape // Acta Geoturistica. 2017. Vol. 8. No. 1. P. 1–10. DOI: 10.1515/agta-2017-0001.

36. Андреева Е. Д. Звуковой ландшафт как реальный объект и исследовательская проблема // Экология культуры. 2000. С. 76–85.

37. Žilinskaitė L., Lapėnienė A. Pojūčių edukacija: kvapų kelionės // Geografija ir edukacija. 2017. No. 5. P. 51–66. DOI: http://dx.doi.org/10.15823/ge.2017.4

38. Ливинская О. А. Оценка аттрактивности культурно-исторического наследия как компонента культурных ландшафтов Псковской области // Псковский регионологический журнал. 2013. № 16. С. 127–132.

39. Гресь Р. А. Сравнительная оценка аттрактивности пространств ретроспективной дополненной реальности Москвы и Санкт-Петербурга // Colloquium-journal. 2019. № 17-1 (41). С. 6–8. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-10551.

References

1. Drozdov A. V. *Osnovy ekologicheskogo turizma* [Ecological tourism basics]. Moscow, Gardariki Publ., 2005. 271 p.

2. Krasnikova T. C. The tourist potential of the territory and the need for its development. *Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo* [Society: politics, economics, law], 2015, no. 6, pp. 46–48 (In Russian).

3. Kuskov A. S., Dzhaladyan Yu. A. *Osnovy turizma* [Fundamentals of Tourism]. Moscow, KNORUS Publ., 2015. 396 p.

4. Dedyu I. I. *Ekologicheskiy entsiklopedicheskiy slovar'* [Ecological encyclopedic dictionary]. Kishinev, MSE Publ., 1989. 406 p.

5. Gettner A., Torneus E. A., Baranskiy N. N. The aesthetic value of the landscape. *Geografiya* [Geography], 2006, no. 6. Available at: https://geo.1sept.ru/article.php?ID=200600612 (accessed 10.03.2021).

6. Daniel T. C., Arthu L. M., Boster R. S. Scenic assessment: An overview. *Landscape Planning*, 1977, no. 4, pp. 109–129 (In English).

7. Penning-Rowsell E. S. Landscape evolution for development plans. *Journal of the Royal Town Planing Inst*., 1974, no. 60, pp. 930–934 (In English).

8. Frolova M. Yu. Assessment of the aesthetic merits of natural landscapes. *Vestnik Moskovskogo universiteta* [Moscow University Bulletin], 1994, vol. 5, Geography, no. 2, pp. 12–19 (In Russian).

9. Hrynasiuk A. R., Novosad O. V., Ilyin L. V., Ilyina O. V., Ierko, I. V. Attractiveness of landscapes of Volyn region (Ukraine): theory and practice of evaluation. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 2021, no. 34 (1), pp. 56–62. Available at: https://doi.org/10.30892/gtg.34108-619 (accessed 8.03.2021).

10. Zube E. H., Sell J. L., Taylor J. G. Landscape perception: research, application and theory. *Landscape Planning*, 1982, no. 9, pp. 11–33 (In English).

11. Grodzins'kiy M. D., Savits'ka O. V. *Estetika landshaftu* [Landscape aesthetics]. Kiev, Kyivs'kiy universitet Publ., 2005. 270 p.

12. Nosulenko V. N. Psychophysics of natural environment perception: a paradigm shift in experimental research and Epistemology. *Epistemologiya i filosofiya nauki* [Epistemology & Philosophy of Science], 2006, vol. 7, no. 1, pp. 89–92 (In Russian).

13. Urbis A., Povilanskas R., Šimanauskienė R., Taminskas J. Key Aesthetic Appeal Concepts of Coastal Dunes and Forests on the Example of the Curonian Spit (Lithuania). *Water*, 2019, no. 11. Available at: https://doi.org/10.3390/w11061193 (accessed 28.02.2021).

14. Dirin D. A., Popov E. Assessment of the landscape-aesthetic attractiveness of landscapes: a methodological review. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Altai State University], 2010, no. 3–2, pp. 120–124 (In Russian).

15. Petrova E. G., Mironov Y. V., Aoki Y., Matsushima H., Ebine S., Furuya A., Petrova F., Takayama N., Ueda H. Comparison of visual perception and aesthetic assessment of natural landscapes in Russia and Japan: cultural and environmental factors. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2015, no. 6. Available at: https://doi.org/10.1186/s40645-015-0033-x (accessed 28.02.2021).

16. Gorbunov R. V., Tabunshchik V. A., Gorbunova T. Yu. Unresolved theoretical and methodological issues in the aesthetic assessment of landscapes. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2020, no. 3 (54), pp. 6–22 (In Russian).

17. Frank S., Furstb C., Koschkea L., Witta A., Makeschin F. Assessment of landscape aesthetics – Validation of a landscape metrics-based assessment by visual estimation of the scenic beauty. *Ecological Indicators*, 2013, no. 32, pp. 222–231. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.03.026.

18. Atkina L. I. Zhukova M. V. *Estetika landshafta* [Landscape aesthetics]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2013. Available at: http://docplayer.ru/34945510-Elektronnyy-arhiv-ugltu-l-i-atkina-m-v-zhukova-estetika-landshafta.html (accessed 4.03.2021).

19. Safaryan A. A. *Turizm v Armenii: distsinatsiya, attraktivnost', informatsionnyye resursy. Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk* [Tourism in Armenia: distanation, attractiveness, information resources. Abstract of thesis PhD (Geographic Science)]. Perm', 2015. 24 p.

20. Kirillova A. V. Relief as a factor in the aesthetic appeal of the landscape. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o zemle* [Bulletin of the Udmurt University. Ser. Biology. Earth sciences], 2012, no. 2, pp. 104–108 (In Russian).

21. Nikolayev V. A. *Landshaftovedeniye: Estetika i dizayn* [Landscape studies: Aesthetics and design]. Moscow, Aspekt Press Publ., 2005. 176 p.

22. Bibayeva A. Yu., Makarov A. A. Application of GIS to calculate complex indicators aesthetic landscape evaluations. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [Irkutsk State University Bulletin. Ser. Earth Sciences], 2018, no. 24, pp. 17–33 (In Russian).

23. Los' M. A. Natural tourist and recreational potential of the landscape and ecological environment: features of its assessment and rational use. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2013, no. 2 (25), pp. 104–109 (In Russian).

24. Khvorostukhin D. P., Sizova A. D. Development of a methodology for assessing the attractiveness of a survey point using GIS technologies. *Sovremennyye problemy territorial'nogo razvitiya* [Modern problems of territorial development], 2017, no. 3, pp. 12–19 (In Russian).

25. Fedortsova T. A. *Metodika esteticheskoy otsenki ekskursionnykh resursov (ob"yektov i mestnostey). Avtoref. dis. kand. ... geogr. nauk* [Methodology for aesthetic assessment of excursion resources (objects and areas). Abstract of thesis PhD (Geographic Science)]. Minsk, 1985. 24 p.

26. Abramova I. V., Sten'ko S. A. Natural, cultural and historical potential of the Brest region for the development of ecological tourism. *Pskovskiy regionologicheskiy zhurnal* [Pskov Regional Journal], 2017, no. 1 (29), pp. 76–91 (In Russian).

27. Kochurov B. I., Buchatskaya N. V. Assessment of the aesthetic potential of landscapes. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development], 2007, no. 4, pp. 25–33 (In Russian).

28. Lopina E. M., Kornilov A. G., Tokhtar' V. K. Aesthetic assessment of the territory of the botanical garden of the National Research University "BelGU". *Regional'nyye geosistemy* [Regional geosystems], 2013, vol. 25, no. 24 (167), pp. 77–82 (In Russian).

29. Korf E. D. Criteria for assessing the tourist attraction of geological objects in mountainous terrain. *Evraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2014, no. 7, pp. 149–151 (In Russian).

30. Perch-Nielsen P. L. Future climate resources for tourism in Europe based on daily Tourism Climatic Index. *Climatic Change*, 2010, vol. 103, pp. 363–381 (In English).

31. Rybak O. O., Rybak E. A. Application of climate indices to access regional differences in tourism attraction. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo*

agrarnogo universiteta [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2016, no. 121, pp. 425–448 (In Russian).

32. Motoshina A. A., Vdovyuk L. N. Assessment of the aesthetic properties of landscapes of the Tobolsk district of the Tyumen region for recreational purposes. *Geograficheskiy vestnik* [Geographic Bulletin], 2012, no. 4 (23), 2012, pp. 10–20 (In Russian).

33. Cellmer R., Senetra A., Szczepanska A. The Effect of Environmental Factors on Property Value. *FIG Working Week 2012* / Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage /Rome, Italy, 6–10 May 2012, pp. 1–13 (In English).

34. Namazbayeva Z. E., Aktymbayeva A. S., Suleĭmenova N. Zh, Moldagaliyeva. A. E. The index of tourist attraction of natural landscapes of the administrative districts of the East Kazakhstan region. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology], 2019, no. 3, pp. 98–104. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13098.

35. Baczyńska E., Lorenc M. W., Kaźmierczak U. Procedure for evaluation of the attractiveness of the quarries' landscape. *Acta Geoturistica*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 1–10. DOI: 10.1515/agta-2017-0001.

36. Andreyeva E. D. Sound landscape as a real object and research problem. *Ekologiya kul'tury* [Ecology of culture], 2000, pp. 76–85 (In Russian).

37. Žilinskaitė L., Lapėnienė A. Educating the Senses: Walking Through Smells. *Geografija ir edukacija* [Geography and education], 2017, no. 5, pp. 51–66. DOI: http://dx.doi.org/10.15823/ge.2017.4.

38. Livinskaya O. A. Assessment of the attractiveness of the cultural and historical heritage as a component of the cultural landscapes of the Pskov region. *Pskovskiy regionologicheskiy zhurnal* [Pskov Regional Journal], 2013, no. 16, pp. 127–132 (In Russian).

39. Gres' R. A. Comparative assessment of the attractiveness of retrospective augmented reality spaces in Moscow and St. Petersburg. *Colloquium-journal*, 2019, no. 17–1 (41), pp. 6–8. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-10551.

Информация об авторе

Андреева Виктория Леонидовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры географии и методики преподавания географии. Белорусский государственный университет имени Максима Танка (220089, г. Минск, ул. Советская, 18, Республика Беларусь). E-mail: diversity75@mail.ru

Information about the author

Andreeva Victoriya Leonidovna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Geography and Methods of Teaching Geography. Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank (18, Sovetskaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: diversity75@mail.ru

Поступила 18.03.2021

УДК 634.739:631.527(476)

Д. В. Гордей[1], О. В. Морозов[2]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]Белостокский технический университет (Республика Польша)

ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТОВ *VACCINIUM ANGUSTIFOLIUM* AIT. БЕЛОРУССКОЙ СЕЛЕКЦИИ И КОНЦЕПЦИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО СЕЛЕКЦИОННОГО УЛУЧШЕНИЯ ВИДА В УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА ВЕРХОВЫХ ТОРФЯНИКАХ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

В 2014 г. мировой помологический ассортимент голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) пополнился сортами белорусской селекции: Мотего, Половчанка и Янка. Их целевое назначение предполагает культивирование на площадях верховых торфяников Белорусского Поозерья в рамках реализации идеи развития северного голубиководства в стране.

Высокая урожайность и способность к быстрому формированию сплошного покрова определяют хозяйственную ценность сорта Мотего. Однако его широкое использование для создания промышленных плантаций сдерживает неодновременное созревание ягод. В то же время возможность успешного внедрения сорта Мотего в практику любительского садоводства обусловлена его неприхотливостью и высокими декоративными качествами.

Сорта Половчанка и Янка ориентированы на использование в промышленном голубиководстве. Если первый обладает ярко выраженной способностью к фитоценотической экспансии в результате образования большого количества дочерних кустов, то второй имеет подходящую для осуществления механизированной заготовки ягод структуру кроны куста, представленную прямостоячими и слабоветвистыми побегами.

Концепция дальнейшего селекционного улучшения голубики узколистной предполагает выведение сортов, максимально адаптированных к механизированной заготовке ягод и имеющих следующие характеристики: высота куста в пределах 25,0–30,0 см, маловетвистые и упругие побеги формирования, достигающие урожайности 15 т/га и более, с одновременным созреванием плодов, крупными, сладкими и ароматными ягодами на длинных черешках, а также высокой способностью к образованию парциальных кустов, устойчивых к негативному воздействию отрицательных температур, засухе, подтоплению, болезням и вредителям.

Ключевые слова: голубика узколистная, селекционное улучшение, Мотего, Половчанка, Янка, верховые торфяники, Белорусское Поозерье.

Для цитирования: Гордей Д. В., Морозов О. В. Характеристика сортов *Vaccinium angustifolium* Ait. белорусской селекции и концепция дальнейшего селекционного улучшения вида в условиях культивирования на верховых торфяниках Белорусского Поозерья // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 179–187.

D. V. Gordey[1], O. V. Morozov[2]
[1]Belarusian State Technological University
[2]Bialystok University of Technology (Republic of Poland)

THE CHARACTERISTICS OF *VACCINIUM ANGUSTIFOLIUM* AIT. VARIETIES OF BELARUSIAN SELECTION AND CONCEPTION OF FURTHER SELECTION IMPROVEMENT OF SPECIES UNDER CULTIVATION IN CONDITIONS OF A DEVELOPED RIDING PEAT BOGS IN BELARUSIAN POOZERIE

In 2014, the world assortment of lowbush blueberries (*Vaccinium angustifolium* Ait.) was replenished with varieties of Belarusian breeding: Motego, Polovchanka and Yanka. Their purpose are to involve cultivation on the areas of a developed riding peat bogs in Belarusian Lakeland as part of the implementation of the idea of developing northern blueberry farming in the country.

High yields and the ability to quickly form a continuous cover determine the breeding value of the Motego variety. But the widespread use it for the creation of industrial plantations is hindered by the non-simultaneous ripening of berries. At the same time, the possibility of successfully introducing the Motego variety into the practice of amateur gardening was due to its unpretentiousness and high decorative qualities.

Polovchanka and Yanka varieties are oriented towards industrial blueberry growing. If the first has a pronounced ability to expansion as a result of the formation of a large number of daughter bushes, then

the second has a bush crown structure suitable for carrying out mechanized berries harvesting, represented by erect and low twiggy shoots.

The concept of further selection improvement of lowbush blueberries suggest maintaining the varieties adapted as possible to mechanized berries and having the following characteristics: bush height in the range of 25.0–30.0 cm, low twiggy and elastic shoots, reach yields 15 t/ha and more, with simultaneous ripening of fruits, large, sweet and aromatic berries on long petiole, as well as high ability to form daughter bushes, resistant to negative temperatures, drought, flooding, diseases and pests.

Key words: lowbush blueberry, breeding improvement, Motego, Ynka, Polovchanka, developed riding peat bogs, Belarusian Lakeland.

For citation: Gordey D. V., Morozov O. V. The characteristics of *Vaccinium angustifolium* Ait. varieties of belarusian selection and conception of further selection improvement of species under cultivation in conditions of a developed riding peat bogs in Belarusian Poozerie. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 179–187 (In Russian).

Введение. Согласно литературным источникам мировая помологическая структура низкорослой голубики канадской селекции представлена сортами: *Augusta* [1], *Brunswick* [2], *Chignecto* [3], *Cumberland, Fundy* [4], *Blomidon* [5], *Burgundy*, *Ruby Carpet, Top Hat* и *Little Crisp* [6]. В США данная коммерческая группа представлена сортами *Russell* и *Sooy*, в Финляндии – *Arto*®, *Arne*, *Aron*, *Hele*, *Jorma*®, *Siro*, *Sine*, *Tumma*, в ФРГ – *Ama*, *Ascorba*, *Gila*, в Швеции – *Emil* и *Putte* [6].

Преобладающее большинство упомянутых выше сортов было отобрано из естественных популяций *Vacinium angustifolium* Ait. Отдельные сорта, например *Blomidon*, получены в результате контролируемого внутривидового скрещивания [5]. Финские сорта *Arne* и *Aron* получены от скрещивания сорта северной высокорослой голубики *Rancocas* и *V. uliginosum* L. [7].

Общими признаками представителей низкорослой голубики являются высота, которая, как правило, не превышает 60 см, а также способность растений к формированию сплошного покрова ягодника в результате образования подземных побегов – корневищ.

Острая необходимость проведения сопутствующей селекционной работы при интродукции голубикой узколистной на севере Беларуси была продиктована как простым отсутствием зарубежных сортов вида в стране, так и желанием отбора растений, в наибольшей степени соответствующих местным погодно-климатическим и эдафическим условиям возделывания. Важно отметить, что подавляющее большинство сортовых растений голубики узколистной адаптировано к произрастанию на кислых минеральных почвах, в то время как интродукция вида в Белорусском Поозерье предполагает использование в качестве субстрата верхового торфа, имеющего органогенную природу.

Объектом селекционной работы являлись растения 26 форм голубики узколистной, отобранные в 2002 г. О. В. Морозовым из совокупности сеянцев, выращенных из семян от свободного опыления лучших канадских клонов К70-62, К508, К510 и МЕ3. Семенной материал был любезно предоставлен эстонским исследователем Пааль Т. В. В последующем перспективные формы были размножены вегетативно путем черенкования и в виде двухлетних саженцев высажены на опытный участок, на котором каждая из них была представлена 15–26 кустами. Исследования были начаты весной 2009 г., сразу после посадки растений на площади выбывшего из эксплуатации торфяного месторождения верхового типа «Долбенишки» (Шарковщинский район Витебской области). Общая площадь плантации – 0,15 га. Мощность остаточного слоя торфа на участке более 2,0 м. Комплекс агротехнических мероприятий по уходу за растениями включал ежегодное весеннее внесение определенных доз комплексного минерального удобрения «Растворин Марки А». Полив, а также обработка растений защитными препаратами не осуществлялись.

Основная часть. На основании результатов комплексной оценки хозяйственно-биологических признаков и свойств изучавшегося формового разнообразия голубики узколистной, учитывавшего способность каждой формы к образованию сплошного покрова ягодника, урожайность, размерно-весовые показатели и вкусовые качества ягод, предрасположенность к одновременному созреванию урожая, зимостойкость и устойчивость к болезням, были отобраны три формы вида, зарегистрированные в последующем в государственном реестре сортов под названиями: Мотего (рег. № 2012312), Янка (рег. № 2012313) и Половчанка (рег. № 2012314) [8].

Ниже приведем описание первых отечественных сортов голубики узколистной. Название сорта Мотего представляет собой аббревиатуру из двух первых букв фамилий ученых, занимавшихся активным изучением голубики узколистной в Беларуси: Морозов О. В., Терешкина Н. В., Гордей Д. В.

Рис. 1. Ягоды и полог сорта *Мотего* (фото Д. В. Гордей 24.07.2020)

Как ни парадоксально, но из 26 форм голубики узколистной это единственная из изучавшихся нами, имеющая выраженно узкую («ивовую» – *Salix triandra* L.) форму листьев и в наиболее полной мере соответствующая русскому названию вида. Данная морфологическая особенность позволяет с высокой долей вероятности идентифицировать сорт Мотего среди других форм и растений семенного происхождения, для которых характерна преимущественно ланцентная форма листовой пластинки. Сорт успешно сочетает в себе высокую урожайность со способностью к интенсивной территориальной экспансии. Материнские растения ежегодно образуют большое количество как новых побегов формирования, так и парциальных кустов, из которых в последующем развиваются мощные новые растения. Происходит перманентное увеличение площади ягодника. Урожайность сорта при пересчете на 1 м^2 проективного покрытия изменяется в пределах 1,1–3,6 кг. В среднем можно собрать около 3,0 кг с 1 м^2. Ягоды шаровидные, немного приплюснутые, голубого цвета, с хорошо развитым восковым налетом. Плоды обладают сладким вкусом с ярко выраженным ароматом черники. Средняя масса ягод изменяется в пределах 0,68–0,72 г. Диаметр плодов составляет 10,5–11,0 мм, длина – 8,0–9,2 мм. Урожай созревает не одновременно. Как правило, для заготовки всего урожая требуется проведение двух приемов сбора, равных по массе. Ягоды сконцентрированы в плотных гроздях на вершинах побегов формирования и относительно длинных побегов ветвления, которые под нагрузкой полностью опускаются на поверхность субстрата. Последнее обстоятельство существенно снижает промышленную значимость сорта ввиду сложности проведения механизированной заготовки ягод. Тем не менее Мотего имеет высокую селекционную ценность и является лучшим сортом белоруской селекции для выращивания на приусадебных участках садоводами-любителями. Высота куста находится в пределах 36–40 см. После посадки двухлетнего черенкового саженца на площади выработанного торфяного месторождения куст достигает диаметра горизонтальной проекции кроны куста в 1,0 м к 6–7-летнему возрасту (рис. 1).

Сорт Половчанка получил свое название в честь Половского лесничества ГЛХУ «Поставский лесхоз» (д. Полово), являющегося пионером в развития побочного лесопользования путем создания промышленных плантаций голубики узколистной на верховых торфяниках.

Из всего изучавшегося формового разнообразия *Vacciniim angustifolium* Ait. в Белорусском Поозерье сорт Половчанка характеризуется самой высокой способностью к территориальной экспансии. Уже на пятый год после посадки двухлетнего черенкового саженца диаметр горизонтальной проекции кроны куста достигает 1,0 м. На 7–8-й год значение рассматриваемого показателя превышает 1,5 м. Растения сорта активно занимают пространство, образуя на удалении в 20–50 см от материнского растения большое количество парциальных кустов. В последующем, через 2–3 года, из них развиваются полноценные дочерние кусты, включающиеся в аналогичные ростовые процессы. Формирующийся полог имеет высоту около 40,0 см. Средняя урожайность с 1 м^2 проективного покрытия ягодника изменяется от 0,87 до 2,64 кг. При этом среднее значение рассматриваемого показателя составляет 2,0 кг/м^2. Ягоды имеют шаровидную форму. Окраска их голубая с восковым налетом. Масса плодов изменяется в пределах 0,36–0,62 г, диаметр – 8,6–10,0 мм, длина – 7,0–9,8 мм. Вкус ягод сладкий с ароматом черники, но менее изысканный, чем у сортов Мотего и Янка. Плоды располагаются на вершинах побегов формирования и ветвления, которые под нагрузкой ягод несколько поникают (рис. 2).

Рис. 2. Ягоды и полог сорта *Половчанка* (фото Д. В. Гордей 24.07.2020)

Тем не менее у сорта Половчанка в полной мере сохраняется возможность заготовки ягод как при помощи ручных плодосборников, так и механизировано. Сорт также характеризуется высоким процентом одновременно созревающих ягод.

Сорт Янка получил свое название в честь одноименной реки, питание которой осуществляется за счет поверхностного стока вод с площади верхового болота, на котором была создана первая научно-производственная плантация голубики узколистной в Белорусском Поозерье. Для сорта характерны прямостоячие побеги высотой 29–32 см. В отличие от Мотего, у Янки ягоды сконцентрированы на вершинах многочисленных побегов формирования и коротких побегах ветвления. Данная особенность пространственного расположения урожая в пределах кроны куста является идеальной для заготовки плодов как с помощью ручных гребенок, так и механизированным способом (комбайном). Еще более важной предпосылкой для успешной организации интенсивного сбора плодов у сорта Янка является одновременное созревание до 80–90% ягод в отдельные благоприятные годы. Ягодная продуктивность 1 м^2 заросли варьируется в пределах 1,0–5,2 кг при среднем значении показателя 3,5 кг/м^2. Ягоды имеют шаровидную форму с интенсивным восковым налетом. Вкус их очень сладкий с приятной, легкой, освежающей кислинкой. Масса ягод от 0,32 до 0,58 г. Диаметр плодов находится в пределах 7,9–9,8 мм, длина – 7,5–8,8 мм. Во время продолжительных и интенсивных осадков может наблюдаться растрескивание кожицы ягод.

Территориальную экспансию сорт проявляет преимущественно за счет увеличения количества побегов формирования. Корневищные побеги образуются в небольшом количестве вдоль по периферии кроны материнского растения. Относительно медленно формируется сплошной покров ягодника: только на 8–9 год после посадки двухлетнего саженца диаметр горизонтальной проекции кроны куста достигает 1,0 м. Сорт восприимчив к увяданию побегов, возбудителем которого, скорее всего, является гриб *Phomopsis vaccinii* Shear (рис. 3).

Рис. 3. Ягоды и полог сорта *Янка* (фото Д. В. Гордей 24.07.2020)

Не лишено оснований предположение о том, что описанные сорта голубики узколистной белорусской селекции не являются генетически чистыми представителями *V. angustifolium*, а содержат в себе еще и наследственную информацию родственных видов: *V. myrtilloides* Michx. и *V. corymbosum* L. Основанием для этого послужили результаты анализа вариабельности параметров габитуса и морфологии вегетативных органов 26 форм интродуцента, выявившие не характерные для классического ботанического описания вида экземпляры растений. В частности средняя высота кустов у одной из форм превысила 90,0 см, а для трех форм было характерно наличие слабого опушения побегов [9]. Подтвердить или опровергнуть данное предположение смогут лишь результаты генетического анализа растений, так как сами сорта не несут внешних морфологических признаков, явно указывающих на возможное межвидовое опыление.

Обратим внимание, что при культивировании сортовых растений голубики узколистной на минеральной почве параметры габитуса кустов, урожайность, а также размерно-весовые показатели ягод будут несколько ниже описанных выше. Больше времени потребуется кустам и для формирования парциальной системы.

Успех голубики узколистной как технической культуры главным образом связан с возможностью организации механизированной заготовки ягод вида. С учетом данного условия постараемся обосновать габитус, особенности морфологического строения вегетативных органов и динамики сезонного развития «идеального» растения *V. angustifolium* в рамках раскрытия общей концепции селекционного улучшения интродуцента.

На наш взгляд, оптимальная высота полога зарослей, обеспечивающая возможность сбора ягод при помощи комбайнов с пассивными либо активными рабочими органами в виде прутьевидных гребенок, находится в пределах 25,0–30,0 см. Использование в хозяйственной практике растений с выстой более 25,0 см позволит минимизировать или полностью исключить негативное влияние конкурентных отношений голубики узколистной с представителями типичных для верховых болот видами: вереском обыкновенным (*Calluna vulgaris* (L.) Hill), багульником болотным (*Ledum palustre* L.), миртом болотным (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench), подбелом многолистным (*Andromeda polifolia* L.), пушицей влагалищной (*Eriophorum vaginatum* L.), клюквой болотной (*Oxycoccus palustris* Peps.), голубикой топяной (*V. uliginosum* L.) и осоками (*Carex* L.). В то же время принятое минимальное значение высоты ягодника в определенной степени компенсирует проблемы использования заготовительной техники, обусловленные неровностями микрорельефа участка, а также препятствиями в виде остатков корней древесных растений. Пренебречь нижним вертикальным порогом значения кроны куста как важного фактора селекционного отбора не представляется возможным даже с учетом качественного проведения предпосадочной подготовки почвы ввиду весьма вероятного появления сорняков и нарушения идеально горизонтальной поверхности участка в долгосрочной перспективе.

Высота 25 перспективных форм голубики узколистной в Белорусском Поозерье изменяется в пределах 28–62 см. В свою очередь среднее значение показателя для формового разнообразия составляет 40,0 см [10]. Ограничение высоты кроны кустов значением показателя в 30,0 см обусловлено необходимостью отбора растений с прямостоячими и слабоветвистыми, имеющими округлую форму поперечного сечения побегами формирования.

По мнению эстонских ученых, основной помехой для использования заготовительной техники в зарослях голубики узколистной являются старые побеги, которые они рекомендуют удалять путем проведения омолаживающей обрезки кустов один раз в 2–3 года [11]. Допуская возможность успешного сбора ягод голубики узколистной в независимости от высоты ягодника, отметим несомненное достоинство выбора узкого диапазона изменений данного показателя – простотой будущих конструкторских решений при разработке комбайнов в Беларуси, а также высокой практической эффективностью использования данной техники в мало варьирующих по высоте зарослях. Остается открытым вопрос: «Имело место проявление естественного или искусственного отбора в зарослях голубики узколистной при проведении исследований эстонских коллег?» Ведь весьма вероятно, что с течением продолжительного времени даже в посадках семенного происхождения может сформироваться очень выровненный по высоте фитоценоз ягодника. Если логичным объяснением элиминации растений со значением вертикального показателя ниже среднего служат конкурентные отношения, то причина исчезновения растений со значением вертикального показателя выше среднего может быть обусловлена как выкорчевыванием их во время использования сельскохозяйственной техники, так и намеренным удалением или изъятием человеком. Освободившееся на участке место занимают оставшиеся экземпляры вида, формируя сплошной и однородный полог.

Дополнительные преимущества использования низкорослых, до 30,0 см высотой, форм голубики узколистной обусловлены как

гарантированным восстановлением надземной вегетативной сферы в течение одного вегетационного сезона после проведения омолаживающей обрезки, так и более высокой вероятностью укрытия кустов снежным покровом, обеспечивающим надежную защиту растений от негативного воздействия отрицательных температур зимой.

Целенаправленный отбор растений с гибкими ветвями, диаметр побегов формирования у основания корневой шейки которых, как правило, не превышает 5,0 мм, позволит осуществлять более или менее беспрепятственное перемещение сельскохозяйственной техники по заросли ягодника. Как минимум побеги должны выдерживать без повреждения прохождение резиново-гусеничных, а в идеале – и колесных машин.

Хозяйственную ценность форм вида определяет также предрасположенность растений к быстрому формированию сплошного полога ягодника как за счет увеличения диаметра горизонтальной проекции кроны высаженного материнского куста в результате появления новых побегов формирования, так и, что еще более важно, интенсивного образования новых парциальных кустов из спящих почек, расположенных на корневищах.

Во-первых, за счет снижения плотности посадки растений, склонных к проявлению территориальной экспансии, существенно сокращаются затраты на создание плантаций. При альтернативных схемах посадки: 1,5 × 1,0 м, 1,5 × 1,5 м, 2,0 × 1,5 м и 2,0 × 2,0 м по сравнению с супер густой 1,0 × 1,0 м потребность в саженцах сокращается более чем на 3300, 5500, 6600 и 7500 шт., соответственно. Во-вторых, высокая интенсивность фитопродукционных процессов обусловливает превосходство голубики узколистной над сорняками в конкурентных отношениях, а также способствует более быстрому восстановлению вегетативной сферы при повреждении ее болезнями и вредителями. И, в-третьих, наличие многочисленных подземных побегов, надежно удерживающих растения в субстрате, существенным образом повышает шансы кустов благополучно выдержать нагрузку, оказываемую заготовительной техники.

Как правило, на третий год после посадки черенковых саженцев формы кустарничка, склонные к проявлению фитоценотической экспансии, формируют 5–10 шт. и более дочерних кустов. На 6–7-й год совокупная площадь проективного покрытия материнского и дочерних кустов достигает 1 м^2. В свою очередь при отборе растений, характеризующихся быстрым формированием сплошного полога ягодника, следует иметь в виду тот факт, чтобы ростовые процессы никоим образом не ингибировали продукционные.

Еще одним непременным условием, обеспечивающим возможность осуществления успешной механизированной заготовки урожая в один прием, является одновременное созревание не менее 90,0% ягод от их общего количества. Неоспоримое преимущество форм *V. angustifolium* с рыхлыми кистями, несущими от 2 до 5 шт. плодов на длинных черешках, обусловлено сокращением числа поврежденных плодов, а также сохранением целостности их внутреннего содержимого при воздействии рабочих органов заготовительной техники.

Предпочтение следует отдавать растениям с ягодами массой от 0,6 до 0,9 г, округлой формы, голубой окраски с интенсивным восковым налетом, а также сладким вкусом с легкой освежающей кислинкой и насыщенным ароматом черники.

Предостережем от опрометчивого стремления к повышению крупноплодности растений в селекционной работе с *V. angustifolium*. Во-первых, с увеличением массы плодов теряется неповторимый и изысканный, характерный именно для ягод голубики узколистной, вкус. Во-вторых, в ряде направлений пищевой промышленности востребованы именно плоды средней массы. Так, при производстве маффинов и печенья с голубикой узколистной в США рецептом выпечки строго регламентировано минимальное количество ягод в единице готовой продукции. И, в-третьих, малая ценность крупных ягод как сырья для фармакологической индустрии обусловлена низкой массовой долей кожицы, содержащей основное количество биологически активных веществ.

Ягодная продуктивность естественных фитоценозов голубики узколистной, характеризующихся значительным генетическим разнообразием, изменяется от 300 до 17 000 кг/га при среднем значении показателя 7726 кг/га [12]. Существенно выше урожайность промышленных плантаций, заложенных сортовыми растениями. На 4-й год после посадки урожайность сорта *Augusta* достигает 8,4 т/га [1], на 7-й год возделывания сорта *Chignecto* – 7,6 т/га [3], а в 8-летнем культурценозе сорта *Blomidon* урожайность составляет 22,2 т/га [5]. В нашем случае сформировавшиеся фитоценозы перспективных растений голубики узколистной должны обеспечивать возможность заготовки 10–15 т и более ягод с гектара.

Высокая зимостойкость безусловно является обязательным критерием отбора перспективных растений голубики узколистной. Наибольшей устойчивостью к комплексу факторов зимнего периода характеризуются формы, фенoритмика которых предполагает своевременное, до начала ранних осенних заморозков, окончание вегетационного периода, а также сохранение глубокого

покоя при периодических повышениях температуры в конце осени и оттепелях зимой. Отсутствие достоверных различий между степенью повреждения отрицательной температурой побегов голубики узколистной желто-зеленого, зелено-красного, красного и бордово-красного цвета опровергает гипотезу о прямой связи зимостойкости растений с количеством красного пигмента в коре. В свою очередь обязательной выбраковке подлежат формы с эллиптической или сплющенной формой поперечного сечения побегов, крайне восприимчивые к повреждению отрицательной температурой апикальной, длиной 3–5 см, части ветвей.

Динамика сезонного развития ягодника с цветением весной после окончания поздних весенних заморозков и полным исключением предрасположенности растений к вторичному цветению осенью позволит не только избежать прямого повреждения вегетативных и генеративных органов кустарничка отрицательной температурой, но и существенно уменьшит вероятность последующей патогенной инвазии растений, избежавших негативное воздействие данного абиотического фактора.

Комплекс болезней и вредителей голубики узколистной находится в стадии своего формирования, что определяет необходимость постоянного мониторинга фитосанитарной ситуации в посадках и проведения работы по выявлению наиболее устойчивых форм интродуцента к фито- и энтомовредителям. В свою очередь при отборе следует учитывать данные о восприимчивости к фомопсисному увяданию побегов (*Phomopsis vaccinii* Shear.) низкорослых форм голубики узколистной с загущенной кроной кустов, значение показателя высоты которых, как правило, ограничено 25,0 см, а количество побегов формирования на 1 м^2 превышает 40,0 шт. Отсутствие черной брусничной тли (*Aphis vaccinii* Börn.) у форм интродуцента с опушением на побегах может свидетельствовать о важности данного морфологического признака в обеспечении резистентности растений к негативному воздействию энтомовредителя.

С учетом особенностей гидрологического режима верховых торфяников актуальным является устойчивость растений голубики узколистной к вымоканию во время полного затопления площади посадок весной и возможного подтопления субстрата летом. Последнее качество растений носит по большей части рекомендательный характер ввиду крайне низкой вероятности отклонения от оптимального значения уровня грунтовых вод при эксплуатации мелиоративной системы должным образом. Куда более остро стоит необходимость поиска растений, способных успешно переносить пересыхание верхнего, толщиной 3–5 см, слоя торфа, а также выдерживать повышение температуры атмосферного воздуха до 30°С и более в летний период.

Само собой разумеется, что отбор, обусловленный необходимостью преодоления негативного влияния как факторов живой, так и неживой природы, в ряде случаев имеет второстепенное значение в селекционной работе ввиду легкости компенсации его роли каким-либо агротехническим мероприятием. Например, с болезнями и вредителями можно справиться при помощи обработок растений пестицидами, а в качестве решения проблемы летней засухи и жары следует рассмотреть вариант охлаждающего полива путем дождевания.

Предложенная концепция селекционного улучшения голубики узколистной – это попытка определить или даже вернее спланировать будущее культуры с учетом накопленных знаний и практического опыта возделывания интродуцента. Никоим образом не стоит рассматривать ее положения как строгие наставления, окончательно сформированные и не подлежащие переоценке. Напротив, с целью внесения своевременных корректировок в планы работы следует внимательно отслеживать намечающиеся тенденции ягодного рынка, следить за достижениями научно-технического прогресса в сфере заготовительной техники и учитывать другие факторы: появление новых болезней вредителей, изменения климата и т. д.

В отличие от ряда ягодных культур конечный результат селекционной работы с голубикой узколистной предполагает получение не сорта для последующего массового тиражирования, а семенной группы (пары растений для взаимного переопыления). Слабый интерес, проявляемый фермерами к сортовым растениям при закладке промышленных плантаций, обусловлен медленным формированием сплошного покрова ягодника при посадке черенковых саженцев и высокой стоимостью посадочного материала, полученного путем микроклонального размножения [13]. При этом следует подчеркнуть, что растения *in vitro* характеризуются более низкой ягодной продуктивностью, нежели исходные сорта, выращенные традиционным способом [14]. Материал семенного происхождения под общим названием *Novablue*, полученный от перекрестного опыления специально подобранных родительских генотипов голубики узколистной, быстро занимает площадь участка и характеризуется высокой ягодной продуктивностью [15, 16]. Значительно более низкая себестоимость производства посадочного материала, в данном конкретном случае, из семян, по сравнению с размножением частями вегетативных органов растений и в культуре

in vitro определяет его перспективность при использовании в промышленном ягодоводстве.

В любом случае приведенные выше сведения не умаляет основополагающих принципов селекционного улучшения голубики узколистной, которые могут быть использованы как для отбора перспективных родителей, так и для оценки генеративного потомства.

Заключение. Одним из важных результатов работы по интродукции голубики узколистной в Белорусском Поозерье стало создание сортов: Мотего, Половчанка и Янка, характеризующихся рядом хозяйственно ценных свойств, в числе которых высокая урожайность и вкусовые качества плодов, а также выраженная способность к формированию сплошного покрова ягодника. Концепция дальнейшего селекционного улучшения вида ориентирована на получение сортов, максимально адаптированных к механизированной заготовке ягод: с высотой куста в пределах 25,0–30,0 см, маловетвистыми и упругими побегами формирования, высокопродуктивных, с одновременным созреванием плодов, крупными, сладкими и ароматными ягодами на длинных черешках. Перспективным представляется использование сеянцев от специально подобранных родительских пар с целью удешевления стоимости посадочного материала.

Список литературы

1. Aalders L. E., Ismail A. A., Hall I. V., Helper P. R. Augusta lowbush blueberry. Can. J. Plant Sci. 1975. No. 55. P. 1079.

2. Aalders L. E., Hall I. V., Jackson L. P. Brunswick lowbush blueberry. Can. J. Plant Sci. 1977. No. 57. P. 301.

3. Hall I. V., Aalders L. E., Jackson L. P. Chignecto lowbush blueberry. Can. J. Plant Sci. 1977. No. 57. P. 1217–1218.

4. Hall I. V., Jamieson A. R., Brydon A. D. Cumberland and Fundy lowbush blueberries. Can. J. Plant Sci. 1988. No. 68. P. 553–555.

5. Hall I. V., Aalders L. E. Blomidon lowbush blueberry. Can. J. Plant Sci. 1982. No. 62. P. 519–521.

6. Павловский Н. Б. Таксономия голубики секции Cyanococcus // Опыт и перспективы возделывания ягодных растений семейства Брусничные на территории Беларуси и сопредельных стран: материалы Междунар. науч.-практ. семинара. Минск: Медисонт, 2017. С. 80–95.

7. Lehmushovi A. Highbush blueberries in Finland //: Wild Berry Culture: An exchange of Western and Eastern Experiences: International Conference, Tartu, 10–13 August, 1998 / Metsaduslikud uurimused XXX. Tartu, 1998. P. 102–107.

8. Государственный реестр сортов. URL: http://sorttest.by/gosudarstvennyy_reyestr_2020.pdf (дата обращения: 18.04.2021).

9. Гордей Д. В., Морозов О. В., Терешкина Н. В. Вариабельность форм голубики узколистной по высоте и диаметру горизонтальной проекции кроны кустов, максимальной длине, окраске и опушению побегов в Белорусском Поозерье // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 138–143.

10. Гордей Д. В., Морозов О. В., Буга С. В. Практические рекомендации по выращиванию голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.). Минск: БГТУ, 2020. 59 с.

11. Olt J., Käis L. Kinematics of the working unit of the blueberry harvester. Journal of Agricultural Science. 2006. P. 101–105.

12. Hepler P. H., Yarborough D. E. Natural variability in yield of lowbush blueberries. Hort Science. 1991. No. 26 (3). P. 245–246.

13. Jamieson A. R., Nickerson N. L. Field performance of the lowbush blueberry propagated by seed, stem cuttings and micropropagation. Acta Horticulturae. 2003. No. 626. P. 431–436.

14. Litten W., Smagula J. M. Why not tame the wild blueberry? Maine Agricultural and Forest Experiment Station Miscellaneous Report 415. Orono, 2000. ME 4 pgs.

15. Jamison A. R. *"Novablue"* a seed-propagated lowbush blueberry family. Hort Science. 2008. No. 43 (6). P. 1902–1903.

16. Jamison A. R. Developing seed-propagated lowbush blueberry families. Hort Science. 2008. No. 43 (6). P. 1686–1689.

References

1. Aalders L. E., Ismail A. A., Hall I. V., Helper P. R. Augusta lowbush blueberry. *Can. J. Plant Sci*. 1975, no. 55. P. 1079 (In English).

2. Aalders L. E., Hall I. V., Jackson L. P. Brunswick lowbush blueberry. *Can. J. Plant Sci*. 1977, no. 57. P. 301 (In English).

3. Hall I. V., Aalders L. E., Jackson L. P. Chignecto lowbush blueberry. *Can. J. Plant Sci*. 1977, no. 57, pp. 1217–1218 (In English).

4. Hall I. V., Jamieson A. R., Brydon A. D. Cumberland and Fundy lowbush blueberries. *Can. J. Plant Sci*. 1988, no. 68, pp. 553–555 (In English).

5. Hall I. V., Aalders L. E. Blomidon lowbush blueberry. *Can. J. Plant Sci*. 1982, no. 62, pp. 519–521 (In English).

6. Pavlovskiy N. B. Cyanococcus section blueberry taxonomy. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. seminara "Opyt i perspektivy vozdelyvaniya yagodnykh rasteniy semeystva Brusnichnyye na territorii Belarusi i sopredel'nykh stran"* [Materials of the International Scientific and Practical Seminar "Experience and prospects of cultivating berries of the Vaccinium (Heath) family in Belarus and neighboring countries"]. Minsk, 2017, pp. 80–95 (In Russian).

7. Lehmushovi A. Highbush blueberries in Finland International Conference: Wild Berry Culture: *An exchange of Western and Eastern Experiences*, Tartu, 10–13 August, 1998. Metsaduslikud uurimused XXX. Tartu, 1998, pp. 102–107 (In English).

8. *Gosudarstvennyy reestr sortov* [State Register of Varieties]. Available at: http://sorttest.by/gosudarstvennyy_reyestr_2020.pdf (accessed 18.04.2021).

9. Gordey D. V., Morozov O. V., Tereshkina N. V. Variability of the forms of sweet lowbush blueberry on height and diameter of the horizontal projection of the bush crown, maximum length, color and glabrous of stems in the Belarusian Lakeland. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry, Environmental Management and Recycling of Renewable Resources, 2019, no. 2 (222), pp. 138–143 (In Russian).

10. Gordey D. V., Morozov O. V., Buga S. V. *Prakticheskiye rekomendatsii po vyrashchivaniyu golubiki uzkolistnoy (Vaccinium angustifolium Ait.)* [Practical recommendations for growing lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium Ait.*)]. Minsk, BGTU Publ., 2020. 59 p.

11. Olt J., Käis L. Kinematics of the working unit of the blueberry harvester. *Journal of Agricultural Science*. 2006, pp. 101–105 (In English).

12. Hepler P. H., Yarborough D. E. Natural variability in yield of lowbush blueberries. *Hort Science*. 1991, no. 26 (3), pp. 245–246 (In English).

13. Jamieson A. R., Nickerson N. L. Field performance of the lowbush blueberry propagated by seed, stem cuttings and micropropagation. *Acta Horticulturae*. 2003, no. 626, pp. 431–436 (In English).

14. Litten W., Smagula J. M. Why not tame the wild blueberry? *Maine Agricultural and Forest Experiment Station Miscellaneous Report 415*, Orono, 2000, ME 4 pgs.

15. Jamison A. R. *Novablue* a seed-propagated lowbush blueberry family. *Hort Science*. 2008, no. 43 (6), pp. 1902–1903 (In English).

16. Jamison A. R. Developing seed-propagated lowbush blueberry families. *Hort Science*. 2008, no. 43(6), pp. 1686–1689 (In English).

Информация об авторах

Гордей Дмитрий Васильевич – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gordey@belstu.by

Морозов Олег Всеволодович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и пользования лесом. Белостокский технический университет (17-200, г. Хайнувка, ул. Пилсудского, 8, Республика Польша). E-mail: a.marozau@pb.edu.pl

Information about the authors

Gordey Dmitriy Vasil'yevich – PhD (Biology), Senior Lecturer, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gordey@belstu.by

Morozov Oleg Vcevolodovich – DSc (Biology), Professor, the Department of Forestry and Forest Use. Bialystok University of Technology (8, Pilsudskiego str., 17-200, Haynowka, Republic of Poland). E-mail: marozau@pb.edu.pl

Поступила 18.03.2021

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS

УДК 630*36:621.9

С. А. Голякевич
Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье проведен анализ текущего состояния лесозаготовительного производства на предприятиях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. Отмечены объемы лесозаготовительного производства в разрезе государственных производственных лесохозяйственных объединений, доли машинной заготовки и оказания лесозаготовительных услуг сторонними организациями. Приведены данные о состоянии машинотракторного парка, его количественного и качественного состава для каждого типа машин. Дана информация о степени износа парка машин и необходимости его обновления. Установлена значительная неравномерность износа техники в рамках отдельных государственных производственных лесохозяйственных объединений. Также отмечено, что несмотря на имеющийся тренд снижения объемов заготовки при увеличении возраста машин, отсутствует явно выраженная корреляционная связь между данными показателями. Кроме того, существуют неединичные примеры, в которых машины, имеющие значительно больший возраст, заготавливают большие объемы древесины. Приведена гипотеза, что данные случаи могут являться следствием существенной разницы в квалификации операторов, которая должна компенсироваться отлаживанием процесса обучения. Отмечена тенденция к увеличению объемов установки навигационного и информационного оборудования на лесозаготовительные машины. Даны направления развития машинизированной заготовки в стране.

Ключевые слова: харвестер, форвардер, рубильная машина, прицепная погрузочно-транспортная машина, сортиментовоз, автопоезд, система машин, технология, ресурс, объем заготовки, навигационные системы.

Для цитирования: Голякевич С. А. Анализ и перспективы использования лесозаготовительной техники в природно-производственных условиях республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 188–195.

S. A. Golyakevich
Belarusian State Technological University

ANALYSIS AND PROSPECTS OF LOGGING TECHNOLOGY IN NATURAL PRODUCTION CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

The article analyzes the current state of logging at the enterprises of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. The volumes of logging production in the context of state production forestry associations, the share of machine harvesting and rendering of logging services by third-party organizations are noted. The data on the state of the machine and tractor fleet, its quantitative and

qualitative composition for each type of machines are given. Information is given on the degree of wear and tear of the fleet of cars and the need for its renewal. A significant unevenness of the wear of equipment has been established within the framework of individual state production forestry associations SPFAs. It was also noted that, despite the existing trend of a decrease in the volume of workpieces with an increase in the age of machines, there is no clearly pronounced correlation between these indicators. In addition, there are not isolated examples in which machines, which are much older, harvest large volumes of wood. It is hypothesized that these cases may be a consequence of a significant difference in the qualifications of operators, which should be compensated for by debugging the training process. There is a tendency to an increase in the installation of navigation and information equipment on logging machines. Directions for the development of mechanized billeting in the country are given.

Key words: harvester, forwarder, chipper, transport vehicle, log truck, road train, machine system, technology, resource, volume of preparation, navigation systems.

For citation: Golyakevich S. A. Analysis and prospects of logging technology in natural production conditions of the republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resource*s, 2021, no. 2 (246), pp. 188–195 (In Russian).

Введение. Амортизация парка лесозаготовительных и лесотранспортных машин ставит перед лесопромышленными и лесохозяйственными предприятиями задачу последовательной модернизации машинотракторного парка. Замена старых и технически изношенных машин должна осуществляться исключительно на новые, более прогрессивные и имеющие улучшенные потребительские качества. Задача создания таких машин стоит перед отечественными предприятиями лесного машиностроения [1–3]. Обе задачи должны решаться совместно, что требует соответствующего научно-технического сопровождения. В его рамках важно рассмотреть следующие вопросы:

– эффективности эксплуатации лесозаготовительных комплексов «харвестер – форвардер» с учетом видов проводимых рубок, условий эксплуатации, энергетических и компоновочных характеристик машин и т. д.;

– применения способов и приемов работы операторами харвестеров и форвардеров с учетом необходимости интенсификации работы комплекса машин и вариативности последующего использования отходов лесозаготовок;

– экологической совместимости машин с лесной средой в части применения различных колесных движителей, использования комбинированных и гусеничных движителей, соблюдения требований нормативно-правовых актов и систем лесной сертификации.

Выполнение такой комплексной работы должно опираться на предварительное районирование и анализ природно-производственных условий эксплуатации лесосечных и лесотранспортных машин в республике, в том числе в условиях межсезонья [4–7]. В этой связи рационально предварительное выделение опытных производств, имеющих максимально различные природно-производственные условия ведения лесосечных и лесотранспортных работ с учетом принципа административно-территориального деления в структуре Министерства лесного хозяйства.

Целесообразна разработка руководящих документов или инструкций о существующих и перспективных системах машин для реализации различных технологий лесозаготовительного и лесохозяйственного производств на основе принципов устойчивого лесопользования; создание комплектов технологических схем для проведения рубок различного вида пользования; разработка рекомендаций по внесению изменений в существующие нормативно-правовые акты в области ведения лесозаготовительного производства либо, при необходимости, создание новых нормативно-правовых актов (НПА).

Целью данного исследования являлась разработка перспективных направлений развития механизации лесозаготовительного производства в Республике Беларусь. Объектом исследования выступил машинотракторный парк (МТП) предприятий Министерства лесного хозяйства, предметом исследования – состав, техническое состояние, возраст, производительность и эксплуатационная эффективность МТП. Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи: оценить качество механизации отдельных лесозаготовительных операций и степень изношенности машинотракторного парка, исследовать причины частых отказов техники и разработать направления модернизации машинотракторного парка.

Основная часть. Количественная характеристика фонда лесных машин по предприятиям Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь в последние годы изменяется незначительно. По состоянию на июль 2020 г.

предприятиями Министерства лесного хозяйства (МЛХ) эксплуатируется 2788 ед. лесозаготовительных и лесотранспортных машин. Среди них 305 харвестеров, 353 специализированных форвардера, 823 сортиментовоза и 1307 прицепных погрузочно-транспортных машин. С 2010 г. реализация программы технического оснащения предприятий отрасли позволила увеличить общее количество машин на 1385 ед. В сравнении с аналогичным периодом предыдущего года общее количество харвестеров увеличилось на 2 ед., форвардеров – на 3 ед. сортиментовозов – на 6 ед. и прицепных погрузочно-транспортных машин – на 22 ед. Незначительный рост количества машин в целом и по соответствующим типам свидетельствует о сложившейся структуре машинотракторного парка.

За первое полугодие 2020 г. предприятиями Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь заготовлено 10,757 млн м^3 древесины. Из них 3,445 млн м^3 заготовлено собственными харвестерами и 1,8 млн м^3 харвестерами сторонних организаций, оказывающих лесозаготовительные услуги. Доля машинизированной заготовки составила 48,8%. Данные об объемах лесозаготовительного производства в разрезе государственных производственных лесохозяйственных объединений (ГПЛХО) приведены в табл. 1.

Существенное развитие получило оказание услуг подрядными лесозаготовительными комплексами. В среднем ими добывается около 52% всей древесины, заготовленной многооперационными машинами.

На предприятиях МЛХ при проведении рубок главного и ряда рубок промежуточного пользования применяются многооперационные лесозаготовительные машины производства ОАО «Амкодор». Типаж харвестеров представлен 4 образцами (рис. 1, *а*).

Наиболее полно современными харвестерами укомплектованы предприятия Могилевского ГПЛХО. При общей численности 55 ед. количество харвестеров старше 5 лет составляет не более 25%. Наибольшее количество харвестеров числится в Минском ГПЛХО – 77 ед. Из них машин старше 3 лет – 45 ед. Большинство машин работает в 2 сменном режиме.

В односменном режиме, как правило, работают старые машины. Наиболее старый парк харвестеров в Витебском ГПЛХО. Лишь 9 ед. из них моложе 3 лет (табл. 2).

Харвестеры Витебского ГПЛХО наиболее продолжительное время находятся в ремонте, в среднем 5,5 сут. на 1 харвестер в месяц. 82 дня в ремонте провел харвестер ГЛХУ «Россонский лесхоз» 2012 г. в. при объеме заготовки 8,55 тыс. м^3 и односменном режиме работы. Низкие показатели его работы и длительные простои обусловлены не только физическим износом машины, но и значительно более тяжелыми условиями ее эксплуатации в данном лесхозе. Для сравнения, наиболее старая машина данного типа работает с 2010 г. в ГЛХУ «Минский лесхоз» и за первое полугодие 2020 г. заготовила 14,4 тыс. м^3, работая в одну смену и находясь в этот период лишь 12 сут. в ремонте.

В целом парк харвестеров Министерства лесного хозяйства нуждается в обновлении на 17–35%, что разнится от принадлежности машин к конкретному ГПЛХО.

В сравнении с харвестерами парк форвардеров на предприятиях Министерства лесного хозяйства более старый (табл. 3). Порядка 57,8% форвардеров имеют возраст более 5 лет. Это объясняется тем, что массовое применение форвардеров в лесозаготовительном производстве начато раньше, чем харвестеров. До массового появления в 2010-х гг. харвестеров широко практиковалась технология лесосечных работ с применением бензиномоторных пил и подвозкой сортиментов форвардерами (в наиболее сложных условиях движения), а также прицепными погрузочно-транспортными машинами (в легких условиях движения).

Таблица 1

Объемы лесозаготовительного производства на предприятиях Министерства лесного хозяйства

Наименование ГПЛХО	Всего	Харв. МЛХ	Иными харв.	Процент заготовки харв.
Брестское	1420,0	386,7	212,1	42,2
Витебское	1470,2	474,8	148,1	42,4
Гомельское	2601,5	625,7	424,8	40,4
Гродненское	1326,5	458,9	295,8	56,9
Минское	2160,5	852,9	337,1	55,1
Могилевское	1718,4	645,9	381,8	57,8
Всего	10757,1	3444,9	1799,7	48,8

Амкодор 2531 Амкодор 2541

Амкодор 2561 (2561-01) Амкодор FH 3081

а

Амкодор 2631 Амкодор 2641

Амкодор 2661-01 Амкодор 2622-01

Амкодор 2682-01 Амкодор FF1681

б

Рис. 1. Типаж многооперационных лесозаготовительных машин «Амкодор»

В Витебском ГПЛХО, обладающем наиболее изношенным парком форвардеров, их ежемесячные простои составляют около 6,5 сут./ед. Простои таких машин в течение полугода составляют 10–36 сут. Среднесменная выработка наиболее изношенных форвардеров находится в диапазоне 13,6–32,7 м^3, что значительно ниже среднеотраслевого показателя – 56,7 м^3. Однако, как и в случае с харвестерами, низкая выработка часто является следствием тяжелых эксплуатационных условий.

Среднесменная выработка прицепных погрузочно-транспортных машин в сравнении с форвардерами ниже на 21,8 м^3 и составляет 34,9 м^3. При этом удельные ежемесячные простои составляют в среднем 3,1 сут.

Следует отметить, что эксплуатация погрузочно-транспортных машин происходит менее интенсивно и преимущественно в условиях I и II типа почвогрунтов. Этим объясняются сопоставимые с форвардерами удельные среднемесячные простои ПТМ (табл. 4), несмотря на их более старый парк (в 44% случаев возраст ПТМ старше 7 лет). В ближайшей перспективе более 500 ПТМ потребуют замены на новые. Процесс перехода на использование ПТМ нового образца должен учитывать ряд отраслевых особенностей.

Сейчас отечественная практика применения тракторов и лесных машин в лесохозяйственном производстве отличается от зарубежной разграниченным применением машин: универсально-пропашных тракторов (сельскохозяйственных) на лесокультурных работах, а специализированных лесных машин и их шасси в лесопромышленном производстве. Причем парк лесхозов в основном состоит из тракторов производства ОАО «Минский тракторный завод»: МТЗ-82 и МТЗ-1221, которыми выполняется большинство лесохозяйственных работ. При этом конструкция данных универсальных тракторов имеет некоторые недостатки, препятствующие их более эффективному использованию на лесозаготовках. В типаже продукции ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга», напротив, присутствуют машины для лесозаготовок – лесные погрузчики, харвестеры, трелевочные машины для хлыстов и сортиментов.

Таблица 2

Эксплуатационные показатели работы харвестеров

Наименование ГПЛХО	Кол-во харв.	В возрасте			Ежемес. простои сут./ед.
		до 3 лет	от 3 до 5 лет	старше 5 лет	
Брестское	41	23	3	15	2,9
Витебское	37	9	7	21	5,5
Гомельское	51	14	16	21	2,9
Гродненское	44	22	5	17	2,3
Минское	77	32	11	34	3,0
Могилевское	55	33	8	14	2,7
Всего	305	134	48	123	3,1

Таблица 3

Эксплуатационные показатели работы форвардеров

Наименование ГПЛХО	Кол-во форв.	В возрасте			Ежемес. простои сут./ ед.
		до 3 лет	от 3 до 5 лет	старше 5 лет	
Брестское	47	20	1	26	2,9
Витебское	70	14	9	47	6,5
Гомельское	51	8	16	27	3,5
Гродненское	43	12	7	24	4,2
Минское	88	32	6	50	4,1
Могилевское	54	18	6	30	3,1
Всего	353	104	45	204	4,2

Таблица 4

Эксплуатационные показатели работы ПТМ

Наименование ГПЛХО	Кол-во ПТМ		Ежемес. простои сут./ед.	Среднесм. выраб.
	всего	старше 7 лет		
Брестское	216	110	3,1	34,9
Витебское	210	89	4,6	31,0
Гомельское	323	111	3,0	34,1
Гродненское	117	57	2,0	34,9
Минское	268	121	2,7	36,7
Могилевское	173	90	2,8	38,7
Всего	1307	578	3,1	34,9

С учетом роста объемов выполняемых лесохозяйственных работ, расширения возможности использования современных почвообрабатывающих и лесопосадочных механизмов, сокращения численности механизаторских кадров возрастет необходимость в многофункциональном лесном тракторе для выполнения широкой номенклатуры работ, в том числе и лесотранспортных операций на I и II типах местности.

По предварительным расчетам, общая технологическая потребность лесохозяйственных организаций в энергонасыщенных тракторах (с мощностью двигателя более 120 кВт) не превышает 5–8%, в то время как доля лесохозяйственных тракторов с мощностью двигателя 80–120 кВт может достигать 60–70%. Указанное отличие характерно отражает разницу в механизации лесохозяйственных работ в сравнении с аграрным комплексом, где использование высокоэнергонасыщенных тракторов позволяет снизить себестоимость выполнения работ.

При проведении рубок осветления и прочистки широкое применение нашли харвестеры и форвардеры производства Vimek AB (рис. 2): харвестеры Vimek 404 и форвардер Vimek 610.2.

Рис. 2. Комплекс многооперационных лесозаготовительных машин Vimek

В структуре Министерства лесного хозяйства эксплуатируется 79 ед. харвестеров и 78 ед. форвардеров Vimek. Среднесменная выработка на каждый харвестер данной марки за первое полугодие 2020 г. составила 25,8 м^3 (от 17,7 м^3 до 30,8 м^3 для различных ГПЛХО), а на каждый форвардер – 31,5 м^3 (25,5–40,8 м^3). Следует отметить, что для форвардеров Vimek сохраняется относительно большое расстояние вывозки, в среднем – 933 м. Наибольшие расстояния вывозки – 1250 м отмечаются в Витебском и Гомельском ГПЛХО. В большинстве случаев это обусловлено неразвитостью сети лесных дорог на участках лесфонда с возрастом древостоев 20–40 лет.

Вывозка заготовленной древесины осуществляется преимущественно сортиментовозными автопоездами прицепного и полуприцепного типа. При общем количестве машин 823 ед., 242 ед. (29%) имеют срок эксплуатации свыше 7 лет и в скором времени потребуют замены. На каждую машину приходится около 3,8 дня среднемесячного простоя. Среднесменная выработка на каждую машину составляет 67,3 м^3 (табл. 5).

Среднее расстояние вывозки сортиментов автопоездами в 75% случаев превышает 40 км. Большинство автопоездов-сортиментовозов являются неполноприводными и имеют колесную форму 6×4. Полноприводные поезда составляют менее 20% от общей численности.

Анализ статистических данных позволил оценить среднюю стоимость заготовки древесины франко потребитель – около 15,1 руб./м^3.

Таблица 5

Эксплуатационные показатели работы автопоездов-сортиментовозов

Наименованиеь ГПЛХО	Кол-во ПТМ, ед.		Ежемес. простои, сут./ед.	Среднесм. выраб., м^3
	всего	старше 7 лет		
Брестское	118	39	2,9	70,4
Витебское	139	47	5,0	62,7
Гомельское	185	53	3,9	69,2
Гродненское	92	32	2,6	60,7
Минское	163	47	3,9	71,4
Могилевское	126	24	3,8	69,4
Всего	823	242	3,8	67,3

Наряду с заготовкой древесины в сортиментах предприятиями Министерства лесного хозяйства реализуются технологии получения щепы на нижних и промежуточных складах. Для этого применяются мобильные рубильные машины собственного производства, выполненные в виде полуприцепов (МТЗ МР-40, МР-100), на специализированных лесных шасси (Амкодор 2904), а также на базе автомобилей сортиментовозов (МАЗ 6944С9) [8–10].

Отметим, что на лесозаготовках страны не используется гусеничная техника. При этом условия для ее рационального применения существуют в ряде регионов. В основном это лесозаготовительные районы Гомельского и Витебского ГПЛХО, лесфонд которых часто расположен на слабонесущих грунтах, где движение колесной техники затруднительно, а в ряде случаев невозможно. В этой связи важным направлением исследований следует считать изучение экологической совместимости машин с лесной средой в части применения различных колесных движителей, использования комбинированных и гусеничных движителей, соблюдения требований нормативно-правовых актов и систем лесной сертификации [11].

Контроль за эксплуатацией лесных машин осуществляется посредством установки навигационных систем, имеющих возможности передачи данных по сетям мобильных операторов [12, 13]. К настоящему моменту такими системами оснащено 75% харвестеров, 79% форвардеров, 95% автомобилей-сортиментовозов, 90% ПТМ, а также ряд служебных автомобилей и прочей техники, задействованной в производстве.

Широкое распространение навигационного оборудования позволит осуществить переход к эксплуатации единой государственной автоматизированной информационной системе (ЕГАИС) к концу 2020 г. [14, 15].

Заключение. На основе анализа собранных данных об объемах лесозаготовительного производства установлено, что уровень заготовки древесины многооперационными лесными машинами на предприятиях Министерства лесного хозяйства превысил 50%. При этом большая часть древесины, заготавливаемой машинным способом, получена с привлечением сторонних организаций. Следует считать структуру парка лесозаготовительных машин на предприятиях Министерства лесного хозяйства сложившейся. Ее дальнейшее изменение имеет слабую тенденцию к пропорциональному увеличению каждого типа машин. Существенные структурные изменения возможны в сфере машинизации лесохозяйственных операций и при проведении рубок прочистки и прореживания, где существующая техника недостаточно соответствует предъявляемым требованиям или закупается у иностранных производителей. Предприятиями лесного машиностроения страны сформированы и обновляются линейки лесозаготовительных машин для проведения рубок главного пользования. Существенным недостатком следует считать отсутствие отечественных малогабаритных машин, способных осуществлять рубки ухода под пологом леса.

Также отметим существующую тенденцию к увеличению объемов установки навигационного и информационного оборудования на лесозаготовительные машины, что в целом способствует более равномерному переходу к единой государственной автоматизированной информационной системе.

Анализом технического состояния машинотракторного парка для ряда ГПЛХО установлен тренд снижения объемов заготовки с увеличением возраста машин. В общем случае существенные изменения наблюдаются в возрасте более 3 лет для харвестеров и более 5 лет для форвардеров. Однако при сравнительном анализе объемов выработки машинами разного возраста в целом по стране такая явная корреляционная связь между данными показателями отсутствует. Отмечены неединичные случаи, в которых машины, имеющие значительно больший возраст, заготавливают большие объемы древесины. Причиной этого являются суще-

ственные различия в условиях эксплуатации машин в регионах страны и разница в опыте операторов. В этой связи существует необходимость в проведении научно-практических исследований условий эксплуатации машин в различных регионах страны. В качестве наиболее влияющих факторов следует отметить: почвенно-грунтовые условия движения; типы леса, виды заготавливаемых сортиментов по породе, размерам и качеству; разреженность лесного фонда и т. д.

Наряду с отмеченными направлениями развития машинотракторного парка следует уделить особое внимание исследованию показателей стоимости владения лесозаготовительной техникой и ее влиянию на себестоимость продукции.

Список литературы

1. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 18–20.

2. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: дис. … д-ра. техн. наук: 05.21.01. Л., 1987. 315 с.

3. Голякевич С. А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 72–78.

4. Протас П. А., Мисуно Ю. И. Структурная схема и критерии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 248–253.

5. Федоренчик А. С., Корзун И. И. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов Беларуси // Труды БГТУ. Сер. VII, Экономика и управление. 2001. Вып. IX. С. 148–153.

6. Толкач И. В. Основные направления развития системы лесоустройства и методов инвентаризации лесов Беларуси // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 50–53.

7. Коцан В. В., Севко О. А. Динамика радиального прироста сосновых древостоев с различной пространственной структурой и условиями произрастания // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 16–19.

8. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 26 с.

9. Мохов С. П., Германович, А. О. Анализ конструктивных особенностей рубильных // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 40–44.

10. Германович А. О. Оценка параметров технологического и тягового модулей рубильной машины на самоходном шасси // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 79–82.

11. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период 2015–2030 годы: утв. заместителем Премьер-министра Респ. Беларусь 23.12.2014, № 06/201-271. Минск: Совет Министров Респ. Беларусь, 2015. 15 с.

12. Шегельман И. Р., Щеголева Л. В., Лукашевич В. М. Применение ГИС-технологий в изучении климатических и почвенно-грунтовых условий Республики Карелия // Вестник Поморского университета. Сер.: Естественные и точные науки. 2007. № 1 (11). С. 22–27.

13. Wee T.-K. and Kuo, Y.-H. A perspective on the fundamental quality of GPS radio occultation data, Atmos. Meas. Tech., 2015, 8, 4281–4294. URL: https://doi.org/10.5194/amt-8-4281-2015 (дата обращения 06.01.2021)

14. Hofmann-Wellenhof B., Lichtennrgger H., Colins J. Global Positioning System: Theorie and Praxis. Springer; Wien; New York, 1992. 306 p.

15. Голякевич С. А., Пищов С. Н. Информационные технологии в лесном комплексе. Минск: БГТУ, 2018. 123 с.

References

1. Mokhov S. P., Golyakevich S. A., Pishchov S. N., Ariko S. Ye. Analysis of trends in the development of multioperational forest machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 18–20 (In Russian).

2. Zhukov A. V. *Teoreticheskiye osnovy vybora tekhnicheskikh parametrov i uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv spetsial'nykh lesnykh mashin. Dis. dokt. tekhn. nauk* [Theoretical bases of a choice of technical parameters and improvement of operational properties of special forest machines: Diss of DSc (Engineering)]. Leningrad., 1987. 315 p.

3. Golyakevich S. A. Analysis of operational modes of operation of multi-operative logging machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 72–78 (In Russian).

4. Protas P. A., Misuno Yu. I. Structural scheme and the criteria for assessing the operational and environmental forest machines compatible with soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 248–253 (In Russian).

5. Fedorenchik A. S., Korzun I. I. Typing the natural-production conditions of harvesting areas in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series VII, Economics and Management, 2001, issue IX, pp. 148–153 (In Russian).

6. Tolkach I. V. The main directions of developed of forest management and metods of forest inventory of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 50–53 (In Russian).

7. Kotsan V. V., Sevko O. A. Dynamics of radial growth of pine stands with different spatial structure and growing conditions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2 (222), pp. 16–19 (In Russian).

8. Germanovich A. O. *Obosnovaniye parametrov mobil'noy rubil'noy mashiny na baze mnogofunktsional'nogo shassi dlya proizvodstva toplivnoy shchepy. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Parametres substantiation of mobile chipper based on multifunctional chassis for wood chips production. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2015. 26 p.

9. Mokhov S. P., Germanovich A. O. Analysis of the design features of chipping machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry. pp. 40–44 (In Russian).

10. Germanovich A. O. Estimation of parameters of technological and traction modules of the chipper on a self-propelled chassis. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).

11. *Strategicheskiy plan razvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period 2015–2030 gody.* [Strategic plan for the development of the forestry sector for the period 2015–2016]. Minsk, Sovet Ministrov Respubliki Belarus' Publ., 2015. 15 p.

12. Shegel'man, I. R., Shchegoleva, L. V., Lukashevich V. M. Application of GIS technology in the study of climatic and soil conditions of the Republic of Karelia. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta* [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University], series: Natural Sciences, 2007, no. 1 (11), pp. 22–27 (In Russian).

13. Wee T.-K. and Kuo Y.-H. A perspective on the fundamental quality of GPS radio occultation data, Atmos. Meas. Tech., 2015. 8, 4281–4294. Available at: https://doi.org/10.5194/amt-8-4281-2015 (accessed 6.01.2021).

14. Hofmann-Wellenhof B., Lichtennrgger H., Colins J. Global Positioning System: Theorie and Praxis. Springer; Wien; New York, 1992. 306 p.

15. Golyakevich S. A., Pishchov S. N. *Informatsionnyye tekhnologii v lesnom komplekse* [Information technologies in the forest complex]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 123 p.

Информация об авторах

Голякевич Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

Information about the author

Golyakevich Sergey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gsa@belstu.by

Поступила 20.03.2021

УДК 630*614.3

А. А. Духовник[1], Е. А. Леонов[1], С. Е. Арико[1], Д. В. Клоков[2]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]Белорусский национальный технический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНОГО ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА

В статье рассмотрен актуальный вопрос освоения труднодоступного лесосечного фонда в условиях лесозаготовительных предприятий Республики Беларусь. Особенностью разработки таких лесосек является значительное использование ручного труда, низкая производительность и высокая вероятность производственного травматизма. Это приводит к неполному освоению расчетной лесосеки. Для решения поставленной проблемы авторами предлагается новый способ разработки лесосек. Его особенность состоит в том, что лесосеку разрабатывают в два этапа. На первом этапе разрабатывают доступные ее участки полосами шириной равной двойному вылету гидроманипулятора харвестера. Для этого применяется система машин «харвестер и форвардер». На втором этапе разрабатывают труднодоступные участки лесосеки с разбивкой их на пасеки шириной 25–30 м перпендикулярно к подъездному лесовозному пути. Для этого используют бензопилы, колесный трелевочный трактор и харвестер. Предлагаемый способ разработки лесосек позволит снизить долю ручного труда на операциях по очистке деревьев от сучьев и раскряжевке хлыстов на труднодоступных участках. Это обеспечит повышение производительности работ на таких лесосеках на 19–23%. Машинный способ обрезки сучьев снизит травматизм при работе, обеспечит более высокую культуру производства. Данный способ разработки лесосеки позволит повысить сохранность наземной растительности, улучшит биоразнообразие за счет меньшего воздействия на почвогрунты колесного движителя. Такие меры приведут к ускорению процесса лесовозобновления на участках, где производились лесозаготовительные работы.

Ключевые слова: технология, труднодоступные лесосеки, система машин, эффективность.

Для цитирования: Духовник А. А., Леонов Е. А., Арико С. Е., Клоков Д. В. Совершенствование технологии освоения труднодоступного лесосечного фонда // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 196–201.

A. A. Dukhovnik[1], E. A. Leonov[1], S. Ye. Ariko[1], D. V. Klokov[2]
[1]Belarusian State Technological University
[2]Belarusian National Technical University

PERFECTION OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF DIFFICULT-CUTTING FUND

The article deals with the topical issue of the development of hard-to-reach logging fund in the conditions of logging enterprises of the Republic of Belarus. A feature of the development of such cutting areas is the significant use of manual labor, low productivity and a high probability of industrial injuries. This leads to incomplete development of the allowable cut. To solve the problem posed, the authors propose a new method for the development of cutting areas. Its peculiarity lies in the fact that the cutting area is developed in two stages. At the first stage, its accessible sections are developed in strips equal to the double reach of the harvester's hydraulic manipulator. For this, the “harvester and forwarder” machine system is used. At the second stage, hard-to-reach areas of the felling area are developed with their breakdown into apiaries 25–30 m wide perpendicular to the access logging track. To do this, use chainsaws, a wheeled skidder and a harvester. The proposed method for the development of felling areas will reduce the share of manual labor in operations for clearing trees from branches and bucking logs in hard-to-reach areas. This will ensure an increase in the productivity of work at such cutting areas by 19-23%. The machine method of delimbing will reduce injuries during work, provide a higher production culture. This method of developing the cutting area will improve the safety of terrestrial vegetation, improve biodiversity due to less impact on the soil of the wheeled propeller. Such measures will lead to an acceleration of the reforestation process in the areas where logging was carried out.

Key words: technology, hard-to-reach felling areas, machine system, efficiency.

For citation: Dukhovnik A. A., Leonov E. A., Ariko S. Ye., Klokov D. V. Perfection of technology development of difficult-cutting fund. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 196–201 (In Russian).

Введение. В Республике Беларусь с каждым годом возрастает объем годовой расчетной лесосеки [1]. Так, в 2021 г. плановые показатели по заготовке древесного сырья по всем видам рубок приближаются к 30,0 млн м^3.

Возросший за последние годы в государственных лесохозяйственных учреждениях (ГЛХУ) Министерства лесного хозяйства парк лесозаготовительных машин отличается большим разнообразием. При этом различные почвенно-грунтовые условия, размерно-качественные характеристики насаждений, виды и способы рубок леса и другие факторы характеризуют особые требования к технико-эксплуатационным параметрам применяемых лесных машин [2].

В этой связи в 2020 г. на предприятиях системы Минлесхоза насчитывалось 294 харвестера, 350 форвардеров, 817 сортиментовозов, 1285 машин погрузочно-транспортных, 60 рубильных мобильных машин и другой техники.

Кроме этого, в Республике Беларусь активно развивается рынок услуг со стороны частных лесозаготовителей, доля участия которых в освоении расчетной лесосеки постоянно увеличивается.

Реализация амбициозной цели Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь по выводу отрасли на самоокупаемость невозможна без решения следующих основных задач:

– рационального и своевременного освоения расчетной лесосеки, в том числе по труднодоступному лесосечному фонду;

– рационального и комплексного использования лесных ресурсов, в том числе низкокачественной древесины и образующихся древесных отходов;

– развития в стране конкурентного рынка услуг по заготовке древесины между субъектами различных форм собственности.

1. Специфика лесозаготовок Беларуси. Особенностью лесозаготовительного производства в Республике Беларусь является практически повсеместное применение сортиментной технологии лесосечных работ [3–10]. Освоение расчетной лесосеки по главному пользованию осуществляют предприятия Министерства лесного хозяйства, УП «БР-Консалт» – управляющая компания «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности», концерна «Беллесбумпром», а также предприятия других ведомств и организации частной формы собственности. При этом годовой лесосечный фонд, отведенный в рубку, условно делится на лесосеки с хорошей доступностью и труднодоступные.

Разработка лесосек с хорошей доступностью, отличающихся удовлетворительной несущей способностью грунтов, как правило, осуществляется следующими вариантами систем машин: «харвестер – форвардер» (рис. 1) или «бензопила – погрузочно-транспортная машина» (рис. 2) [3–7].

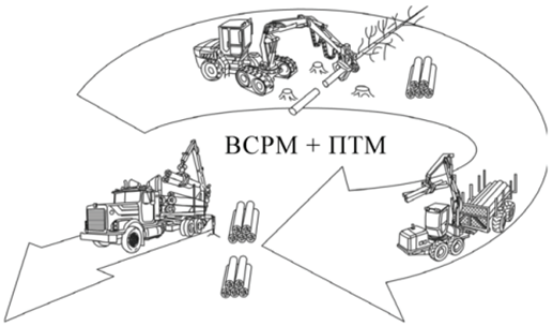


Рис. 1. Разработка лесосек с хорошей несущей способностью грунтов системой машин «харвестер – форвардер»

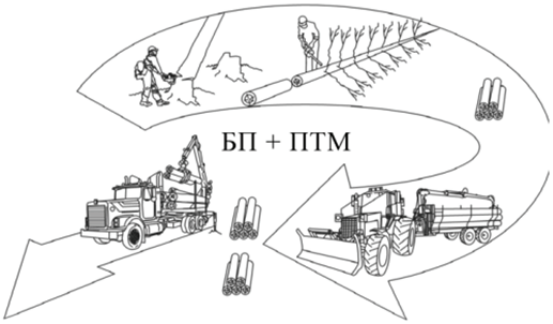


Рис. 2. Разработка лесосек с хорошей несущей способностью грунтов системой машин «бензопила – ПТМ»

Образующиеся вдоль трелевочного волока лесосечные отходы оставляются на перегнивание или измельчаются передвижной рубильной машиной с бункером в топливную щепу и последующей ее отгрузкой в автощеповоз.

При необходимости сырье для производства топливной щепы в виде лесосечных отходов может собираться и доставляется на верхний (промежуточный) склад погрузочно-транспортной машиной (ПТМ), после чего происходит их укладка в кучи (валы) для последующего измельчения в топливную щепу рубильной машиной [11, 12].

При этом отечественный производственный опыт показал низкую эффективность применения колесных форвардеров на операции подвозки отходов лесозаготовок. Это связано с незначительной объемной массой перевозимого древесного сырья, а следовательно, и с низким статическим коэффициентом использования грузоподъемности транспортных средств [13].

Разработка труднодоступных лесосек, отличающихся слабой несущей способностью

грунтов, как правило, осуществляется с применением системы машин: «бензопила – трелевочный трактор с канатно-чокерным оборудованием» (рис. 3) [3–10, 11, 12].

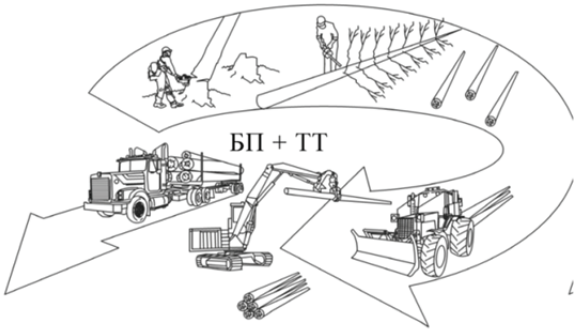


Рис. 3. Разработка труднодоступных лесосек системой машин «бензопила – трелевочный трактор»

Анализ существующих технологий и систем машин для выполнения лесосечных работ показал, что высокая механизация технологических операций с использованием машинных комплексов «харвестер – форвардер» характерна для лесосек с хорошей несущей способностью грунтов. В то же время разработка труднодоступного лесосечного фонда осуществляется главным образом с применением бензопил и трелевочных тракторов с канатно-чокерным оборудованием. Такой технологический процесс отличается значительной трудоемкостью, низкой производительностью и сопряжен с тяжелыми условиями труда, а также высокой вероятностью производственного травматизма.

2. Технология разработки труднодоступного лесосечного фонда. Для решения поставленных проблем авторами предлагается новый способ разработки лесосек. Его принципиальная особенность заключается в том, что после выполнения всех необходимых подготовительных работ лесосека разрабатывается в два этапа [14].

На первом этапе (рис. 4, *а*) разрабатывается доступная к освоению часть лесосеки *1*. При этом в процессе движения по технологическому коридору *5* харвестер *8* производит разработку полосы леса шириной, равной двойному максимальному вылету стрелы гидроманипулятора.

Он осуществляет валку деревьев *9* с последующей очисткой их от сучьев, раскряжевкой на сортименты *10* и укладкой их по обеим сторонам от технологического коридора *5*. Лесосечные отходы *11*, образующиеся после очистки деревьев *9* от сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты *10*, распределяются харвестером *8* по технологическому коридору *5* и прилегающих к нему участках для укрепления пути. Это обеспечивает повышение несущей способности грунтов технологического коридора *5*, по которому перемещаются харвестер *8* и работающий на безопасном от него расстоянии форвардер *12*, который производит сбор и подвозку сортиментов *10* на верхний склад *2*.

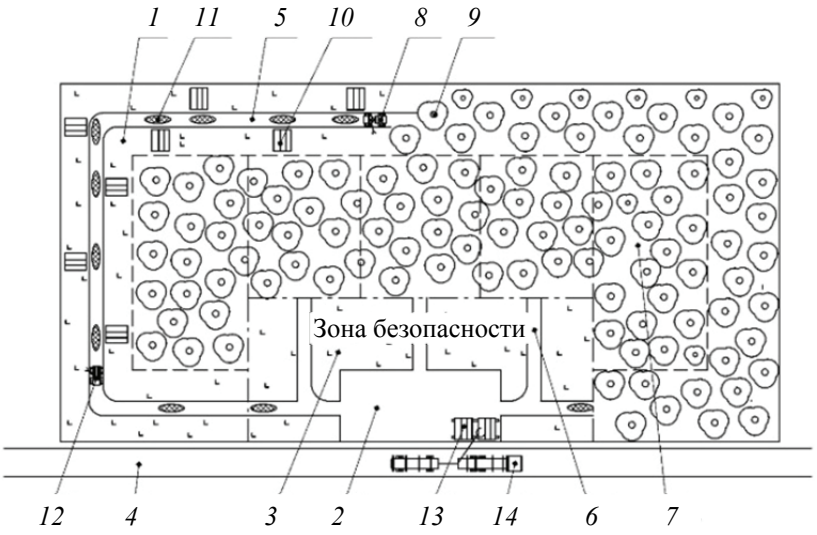
На верхнем складе *2* сортименты *10* укладываются в штабели *13*, а затем загружаются на лесовозный автопоезд *14* с гидроманипулятором, установленным на его раме, с последующей вывозкой потребителю.

Второй этап (рис. 4, *б*) разработки лесосеки *1* производится на труднодоступных ее участках по узкопасечной технологии. В этом случае разбивка неосвоенной части лесосеки *1* производится на пасеки *7* шириной 25–30 м по центру которых прокладываются трелевочные волоки *6* перпендикулярно к подъездному лесовозному пути *4*.

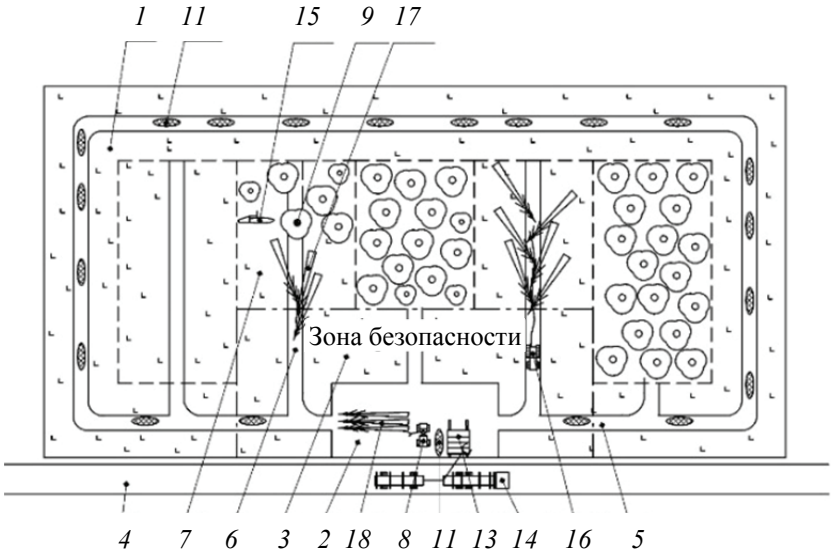
Разработка пасек *7* начинается с ближней по отношению к верхнему складу *2* стороны. Вальщик производит валку деревьев *9* бензопилой *15* вершиной на трелевочный волок *6*. Колесный трелевочный трактор *16* с канатно-чокерной оснасткой двигается по технологическому коридору *5* до границы пасеки *7*, примыкающей к нему, с установкой на трелевочный волок *6* на безопасном расстоянии от работы вальщика. Далее он производит разворот с установкой щита до упора в землю по направлению к поваленным деревьям *17* на трелевочный волок *6*. Канатоемкость барабана колесного трелевочного трактора ТТР-411 составляет 90 м для одной из его модификаций. Такая длина каната позволяет обеспечивать сбор поваленных деревьев *17* по всей длине разрабатываемой пасеки *7* и трелевку за вершины на верхний склад *2* с укладкой их в штабель *18*.

На верхнем складе *2* харвестером *8* производится очистка деревьев из штабеля *18* от сучьев с последующей раскряжевкой стволовой части на сортименты *10* с укладкой их в штабели *13*. Далее лесовозным автопоездом *14* с гидроманипулятором осуществляется вывозка древесины потребителю по подъездному лесовозному пути *4*.

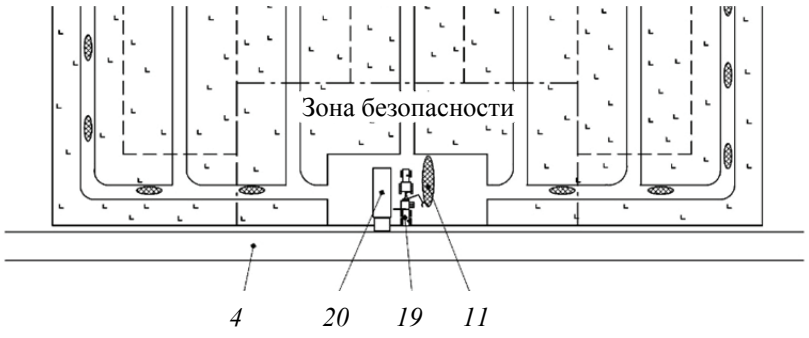
После выполнения основных лесосечных работ и вывозки с верхнего склада *2* древесины потребителю валы лесосечных отходов *11*, образующиеся после обработки деревьев харвестером *8*, перерабатываются передвижной рубильной машиной *19* с гидроманипулятором на щепу с последующей ее доставкой на энергообъекты автощеповозом *20* по подъездному лесовозному пути *4* или оставляются на верхнем складе *2* для перегнивания (рис. 4, *в*).



а



б



в

Рис. 4. Первый этап разработки лесосеки с использованием системы машин «харвестер – форвардер» (*а*), второй этап разработки лесосеки с использованием системы машин «бензопила – колесный трелевочный трактор с канатно-чокерной оснасткой – харвестер» (*б*) и переработка лесосечных отходов на топливную щепу (*в*)

Заключение. Проведенный анализ функционирования лесозаготовительного производства Республики Беларусь позволил выявить существующие в отрасли проблемы и предложить ряд рекомендаций по совершенствованию производственной деятельности предприятий лесного комплекса.

С целью совершенствования освоения лесосечного форда в работе представлен запатентованный способ разработки лесосек, который позволяет [14]:

– снизить долю ручного труда на операциях по очистке деревьев от сучьев и раскряжевке хлыстов на труднодоступных участках заготовки древесины;

– снизить травматизм при работе и обеспечить более высокую культуру производства;

– обеспечить повышение производительности работ на лесосеках на 19–23%;

– повысить сохранность наземной растительности, улучшить биоразнообразие за счет меньшего воздействия на почвогрунты колесного движителя, а значит, ускорить процесс лесовозобновления на участках, где производились лесозаготовительные работы.

Список литературы

1. Германович А. О., Леонов Е. А., Мохов С. П. Оборудование лесопромышленных предприятий. Практикум. Минск: БГТУ, 2020. 223 с.

2. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5–4. С. 291–295.

3. Леонов Е. А., Клоков Д. В. Технология лесозаготовок и переработки древесины. Минск: БГТУ, 2018. 231 с.

4. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Минск: БГТУ, 2016. 204 с.

5. Клоков Д. В., Турлай И. В., Леонов Е. А. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 200 с.

6. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум. Минск: БГТУ, 2015. 212 с.

7. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум / А. С. Федоренчик [и др.]. Минск: БГТУ, 2014. 274 с.

8. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: Темплан, 2009. 287 с.

9. Инновационные технологии лесосечных работ / И. Р. Шегельман [и др.]. Петрозаводск: Verso, 2016. 134 с.

10. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.

11. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.

12. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 444 с.

13. Кононович Д. А. Технологии очистки лесосек от лесосечных отходов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 245–250.

14. Способ разработки лесосеки: пат. 23001 Респ. Беларусь, МПК A01G23/02 / В. А. Симанович, Е. А. Леонов, Д. А. Кононович, С. Е. Арико, С. П. Мохов, С. А. Голякевич, А. А. Духовник; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № a 20180500; заявл. 04.12.2018; опубл. 27.03.2020.

References

1. Hermanovich A. O., Leonov E. A., Mokhov S. P. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Praktikum* [Equipment for timber industry enterprises. Practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2020. 223 p.

2. Ignatenko V. V., Leonov E. A. Establishment of rational parameters of multi-operation machines in the timber industry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 5–4, pp. 291–295 (In Russian).

3. Leonov E. A., Klokov D. V. *Tekhnologiya lesozagotovok i pererabotki drevesiny* [Logging and wood processing technology]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 231 p.

4. Fedorenchik A. S., Klokov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesosechnykh i lesoskladskikh rabot* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 204 p.

5. Klokov D. V., Turlay I. V., Leonov E. A. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Laboratornyy praktikum* [Equipment timber companies. Laboratory practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 200 p.

6. Fedorenchik A. S., Klokov D. V., Leonov E. A. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnoy biomassy. Praktikum* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 212 p.

7. Fedorenchik A. S., Mokhov S. P., Klokov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya. Praktikum* [Technology and equipment for the integrated use of wood raw material. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 274 p.

8. Grigor'ev I. V., Valyazhonkov V. D. *Sovremennyye mashiny i tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot* [Modern machines and technological processes logging activities]. St. Petersburg, Templan Publ., 2009. 287 p.

9. Shegel'man I. R., Laurila Ya. T., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Innovatsionnyye tekhnologii lesosechnykh rabot* [Innovative logging technology]. Petrozavodsk, Verso Publ., 2016. 134 p.

10. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.

11. Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V. *Energeticheskoye ispol'zovaniye nizkokachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 446 p.

12. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 444 p.

13. Kononovich D. A. Technologies cleaning cutting areas form logging waste. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 245–250 (In Russian).

14. Simanovich V. A., Leonov E. A., Kononovich D. A., Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Golyakevich S. A., Dukhovnik A. A. *Sposob razrabotki lesosek* [The method of harvesting area]. Patent BY, no. a 20180500, 2020.

Информация об авторах

Духовник Алеся Александровна – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alesya.duhovnik@mail.ru

Леонов Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: debager13@rambler.ru

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Клоков Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика машиностроительного профиля». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: klokoff_dm@ mail.ru

Information about the authors

Dukhovnik Alesya Aleksandrovna – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alesya.duhovnik@mail.ru

Leonov Evgeniy Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: debager13@rambler.ru

Ariko Sergey Yevgen'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Klokov Dmitriy Viktorovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Ya. Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klokoff_dm@mail.ru

Поступила 20.03.2021

УДК 630*372

Е. А. Леонов[1], Д. В. Клоков[2], В. С. Исаченков[1]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]Белорусский национальный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТРЕЛЕВКИ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Разработка труднодоступных лесосек в Республике Беларусь характеризуется значительным использованием ручного труда, низкой производительностью и высокой вероятностью производственного травматизма. Для решения поставленной проблемы авторами предлагается новый способ разработки лесосек. Его особенность состоит в том, что лесосеку разрабатывают в два этапа. На первом этапе лесосечные работы ведутся на участках лесосеки с хорошей несущей способностью грунтов. Заготовка древесины осуществляется полосами шириной, равной двойному вылету гидроманипулятора харвестера. Для этого применяется система машин «харвестер и форвардер». На втором этапе разрабатывают труднодоступные участки лесосеки с разбивкой их на пасеки шириной 25–30 м перпендикулярно к подъездному лесовозному пути. Практическое применение данного способа разработки лесосеки подразумевает необходимость применения двухступенчатой трелевки древесины. В этом случае перемещение заготовленной древесины с труднодоступных участков лесосеки осуществляется трелевочным трактором с канатно-чокерной оснасткой, а перемещение ее по грунтам с хорошей несущей способностью – погрузочно-транспортной машиной. С целью эффективной реализации двухступенчатой трелевки древесины при освоении труднодоступного лесосечного фонда в статье рассмотрены особенности ее применения в производственных условиях. Рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность трелевки. Произведена сравнительная оценка традиционной и двухступенчатой трелевки по критерию удельной продолжительности. Установлено, что традиционная трелевка эффективна при среднем расстоянии трелевки до 190–310 м. При дальнейшем увеличении данного параметра целесообразно применять двухступенчатую трелевку.

Ключевые слова: труднодоступные лесосеки, система машин, двухступенчатая трелевка, эффективность.

Для цитирования: Леонов Е. А., Клоков Д. В., Исаченков В. С. Применение двухступенчатой трелевки в условиях Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 202–207.

E. A. Leonov[1], D. V. Klokov[2], V. S. Isachenkov[1]
[1]Belarusian State Technological University
[2]Belarusian National Technical University

USING THE TWO-STAGE SKIDDING IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

The development of hard-to-reach felling areas in the Republic of Belarus is characterized by a significant use of manual labor, low productivity and a high probability of industrial injuries. To solve the problem posed, the authors propose a new method for the development of cutting areas. Its peculiarity lies in the fact that the cutting area is developed in two stages. At the first stage, logging operations are carried out in areas of the felling area with good soil bearing capacity. Harvesting of wood is carried out in strips with a width equal to the double overhang of the hydraulic manipulator of the harvester. For this, the “harvester and forwarder” machine system is used. At the second stage, hard-to-reach areas of the felling area are developed with their breakdown into apiaries 25–30 m wide perpendicular to the logging access road. Practical application of this method of logging area development implies the need to use a two-stage skidding of timber. In this case, the movement of harvested wood from hard-to-reach areas of the cutting area is carried out by a skidder with a rope-choker equipment, and its movement over soils with good bearing capacity is carried out by a loading and transport machine. In order to effectively implement a two-stage skidding of wood in the development of a hard-to-reach logging fund, the article discusses the features of its use in industrial conditions. The main factors influencing the efficiency of skidding are considered. A comparative assessment of traditional and two-stage skidding was carried out according to the criterion of the specific duration of skidding. It has been established that traditional skidding is effective with an average skidding distance of up to 190–310 m. With a further increase in this value, it is advisable to use a two-stage skidding.

Key words: hard-to-reach felling areas, machine system, two-stage skidding, efficiency.

For citation: Leonov E. A., Klokov D. V., Isachenkov V. S. Using the two-stage skidding in the conditions of the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 202–207 (In Russian).

Введение. В последние годы в Беларуси сложилась устойчивая тенденция к ежегодному увеличению расчетной лесосеки по всем видам рубок [1]. По итогам 2020 г. фактический объем заготовки древесины в государственных лесохозяйственных учреждениях (ГЛХУ) Министерства лесного хозяйства составил около 21,2 млн м^3.

Традиционно лесосечные работы в нашей стране осуществляются по сортиментной технологии. При этом лесосеки с хорошей несущей способностью грунтов разрабатываются системами машин «бензиномоторная пила + погрузочно-транспортная машина» или «харвестер + форвардер». Труднодоступный лесосечный фонд осваивается, как правило, системой машин «бензиномоторная пила + трелевочный трактор с канатно-чокерной оснасткой» [1–12].

Разработка труднодоступных лесосек по традиционной технологии с использованием на операции трелевки древесины тракторов с канатно-чокерной оснасткой имеет ряд недостатков, среди которых значительная трудоемкость производственных операций, тяжелые условия и низкая производительность труда, повышенная вероятность производственного травматизма [2, 3].

С целью рационального и эффективного освоения труднодоступного лесосечного фонда в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» разработан и запатентован способ разработки лесосеки, включающий разбивку ее территории на доступные и труднодоступные для освоения участки с прокладкой технологических коридоров и трелевочных волоков, к которым примыкает верхний склад с зоной безопасности и подъездным лесовозным путем [12].

Особенность данной технологии состоит в том, что лесосека разрабатывается в два этапа. На первом этапе разрабатываются доступные ее участки полосами шириной, равной двойному вылету гидроманипулятора харвестера с применением системы машин «харвестер + форвардер». На втором этапе разрабатываются труднодоступные участки лесосеки с разбивкой их на пасеки шириной 25–30 м перпендикулярно к подъездному лесовозному пути с использованием бензопилы и колесного трелевочного трактора с канатно-чокерной оснасткой при валке деревьев вершиной на волок, трелевкой их за вершину на верхний склад с последующей обработкой харвестером [13].

Реализация данного способа разработки лесосеки подразумевает необходимость применения двухступенчатой трелевки древесины (рис. 1), при которой перемещение заготовленной древесины с труднодоступных участков лесосеки осуществляется трелевочным трактором с канатно-чокерной оснасткой, а при перемещении ее по грунтам с хорошей несущей способностью – погрузочно-транспортной машиной (ПТМ).

В этой связи для реализации двухступенчатой трелевки древесины при освоении труднодоступного лесосечного фонда встает вопрос об особенностях ее применения в производственных условиях.

Основная часть. Сравнительную оценку традиционной и двухступенчатой трелевки произведем по критерию времени, затрачиваемого на трелевку 1 м^3 древесины.

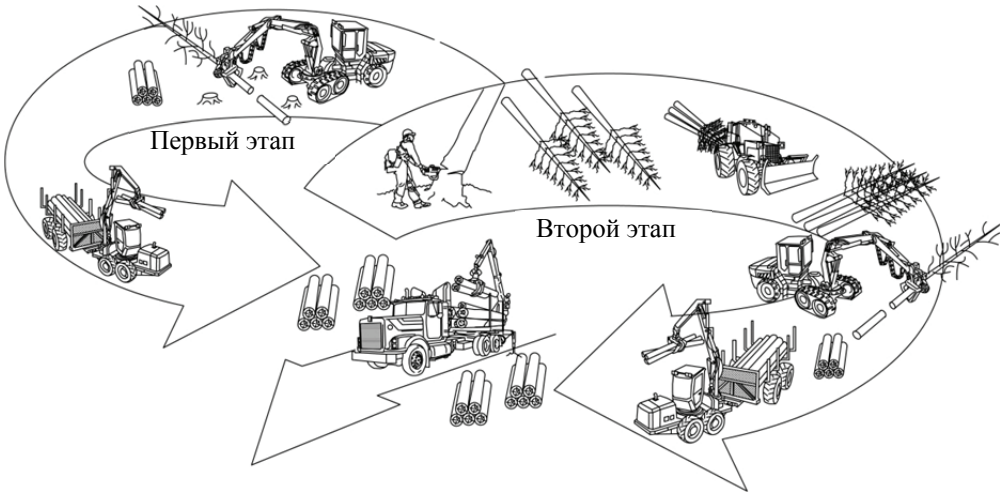


Рис. 1. Разработка лесосек с использованием двухступенчатой трелевки древесины трактором с канатно-чокерной оснасткой и погрузочно-транспортной машиной

Рассмотрим производительность трелевочного трактора с канатно-чокерной оснасткой, определяемую по выражению [3, с. 37]. После его преобразования получим, что время, затрачиваемое на трелевку 1 м^3 древесины, составит

$$t_{\text{тт}} = \frac{\frac{S}{v_{\text{рх1}}} + \frac{S}{v_{\text{хх1}}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{от}}}{V_{\text{п1}}}, \quad (1)$$

где S – среднее расстояние трелевки, м; $v_{\text{рх1}}$, $v_{\text{хх1}}$ – средняя скорость движения трактора соответственно с грузом и без груза, м/с; $t_{\text{пр}}$ – время на чокеровку деревьев и формирование пачки, с; $t_{\text{от}}$ – время на отцепку пачки и чокеров на верхнем складе и выравнивание комлей, с; $V_{\text{п1}}$ – объем древесины, трелюемый трактором за один рейс, м^3.

Для тракторов с канатно-чокерным оборудованием

$$t_{\text{пр}} = \left(2 + 0{,}08 l_{\text{тк}} + \frac{0{,}8 V_{\text{п1}}}{n V_{\text{хл}}} + \frac{2 V_{\text{п1}}}{n}\right) \cdot 60; \quad (2)$$

$$t_{\text{от}} = \left(0{,}6 + \frac{0{,}06 V_{\text{п1}}}{V_{\text{хл}}} + 0{,}5 V_{\text{п1}}\right) \cdot 60, \quad (3)$$

где $l_{\text{тк}}$ – среднее расстояние подачи собирающего каната от трактора к месту чокеровки хлыстов (деревьев), м; n – количество рабочих, участвующих в чокеровке хлыстов (деревьев); $V_{\text{хл}}$ – средний объем хлыста, м^3.

Рассмотрим производительность погрузочно-транспортной машины (ПТМ) или форвардера определяемую по выражению [3, с. 36]. После его преобразования получим, что время, затрачиваемое на трелевку 1 м^3 древесины, составит

$$t_{\text{птм}} = \frac{t_{\text{п.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{п.пач}}} + t_{\text{р.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{р.пач}}}}{V_{\text{п2}}} + \frac{k_0 S \left(\frac{1}{v_{\text{рх2}}} + \frac{k_1}{v_{\text{хх2}}}\right) + \frac{1}{v_{\text{пер}}} \left(\frac{10^4 V_{\text{п2}}}{Q_{\text{га}} b_{\text{п}} i} + l_{\text{р.пер}}\right)}{V_{\text{п2}}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{п.пач}}$ и $t_{\text{р.пач}}$ – затраты времени на погрузку и разгрузку одной пачки соответственно, с; $V_{\text{п.пач}}$ и $V_{\text{р.пач}}$ – объем пачки, захватываемой гидроманипулятором за один прием, при погрузке и разгрузке соответственно, м^3; k_0, k_1 – коэффициенты, учитывающие увеличение пройденного пути за счет непрямолинейности при движении по волоку и увеличение пути при развороте машины соответственно; S – среднее расстояние трелевки (подвозки) сортиментов, м; $v_{\text{рх2}}$, $v_{\text{хх2}}$ – скорости ПТМ в грузовом и порожнем направлениях соответственно, м/с; $v_{\text{пер}}$ – средняя скорость движения ПТМ при сборе пачки, м/с; $Q_{\text{га}}$ – ликвидный запас древесины на 1 га, м^3/га; $b_{\text{п}}$ – ширина пасеки, м; i – интенсивность рубки насаждения (при сплошных рубках i = 1; $l_{\text{р.пер}}$ – путь, проходимый машиной от одного штабеля к другому при разгрузке, м; $V_{\text{п2}}$ – объем древесины, который будет вывезен ПТМ за один рейс, м^3.

Затраты времени на погрузку и разгрузку одной пачки определяются по регрессионным зависимостям Г. М. Ушакова:

$$t_{\text{п.пач}} = 7{,}78 + 58{,}74 V_{\text{п.пач}} + 2{,}18 l_{\text{с}} - 5{,}77 V_{\text{п.пач}} l_{\text{с}}; \quad (5)$$

$$t_{\text{р.пач}} = -48{,}5 + 95{,}29 V_{\text{р.пач}} + 7{,}01 l_{\text{с}} - 1{,}32 V_{\text{р.пач}} l_{\text{с}}^2; \quad (6)$$

$$V_{\text{п.пач}} = \sqrt{\frac{l_{\text{с}} - 1{,}96}{4{,}04}}; \quad (7)$$

$$V_{\text{р.пач}} = \sqrt{\frac{l_{\text{с}} - 2{,}08}{3{,}98}}, \quad (8)$$

где $l_{\text{с}}$ – средняя длина сортимента, м.

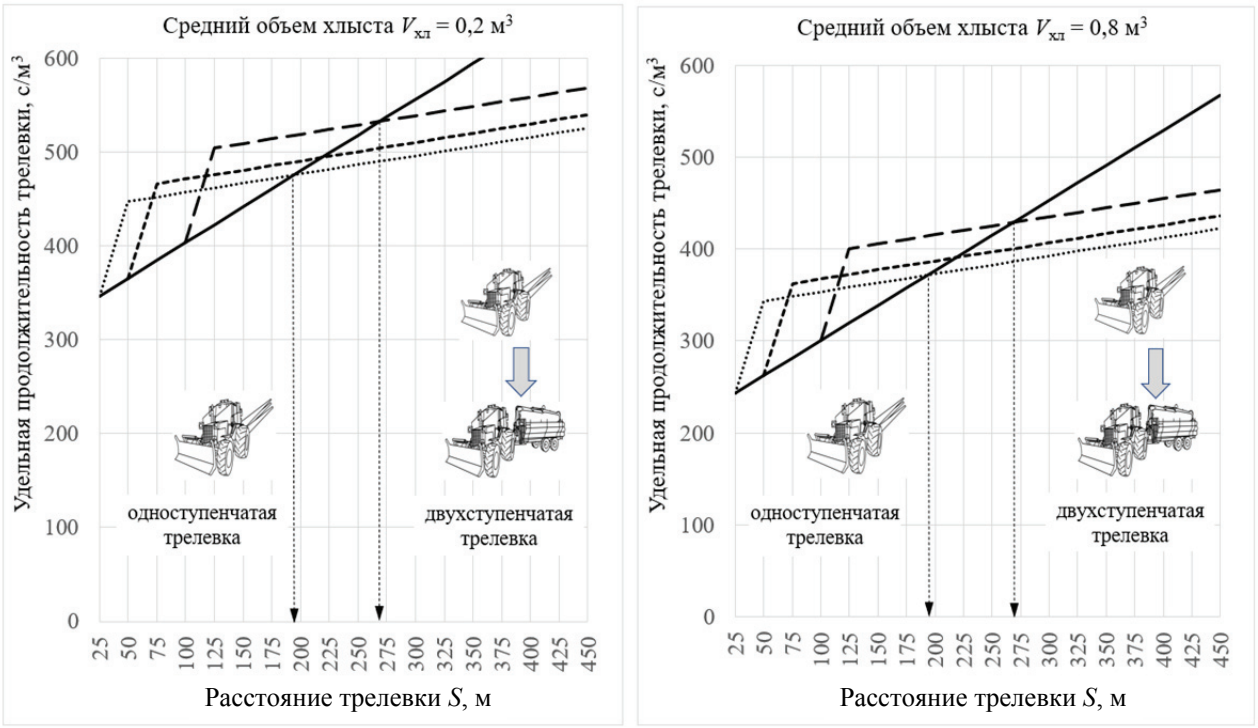
Тогда на основании выражений (1) и (4) время, затрачиваемое на двухступенчатую трелевку 1 м^3 древесины, составит:

$$t_{\text{тт+птм}} = \frac{S_{\text{тт}} \left(\frac{1}{v_{\text{рх1}}} + \frac{1}{v_{\text{хх1}}}\right) + t_{\text{пр}} + t_{\text{от}}}{V_{\text{п1}}} + \frac{t_{\text{п.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{п.пач}}} + t_{\text{р.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{р.пач}}}}{V_{\text{п2}}} + \frac{k_0 (S - S_{\text{тт}}) \cdot \left(\frac{1}{v_{\text{рх2}}} + \frac{k_1}{v_{\text{хх2}}}\right) + \frac{1}{v_{\text{пер}}} \left(\frac{10^4 V_{\text{п2}}}{Q_{\text{га}} b_{\text{п}} i} + l_{\text{р.пер}}\right)}{V_{\text{п2}}}, \quad (9)$$

где $S_{\text{тт}}$ – протяженность первой ступени трелевки древесины (трелевочным трактором с канатно-чокерной оснасткой), м; (S – $S_{\text{тт}}$) – протяженность второй ступени трелевки древесины (погрузочно-транспортной машиной), м.

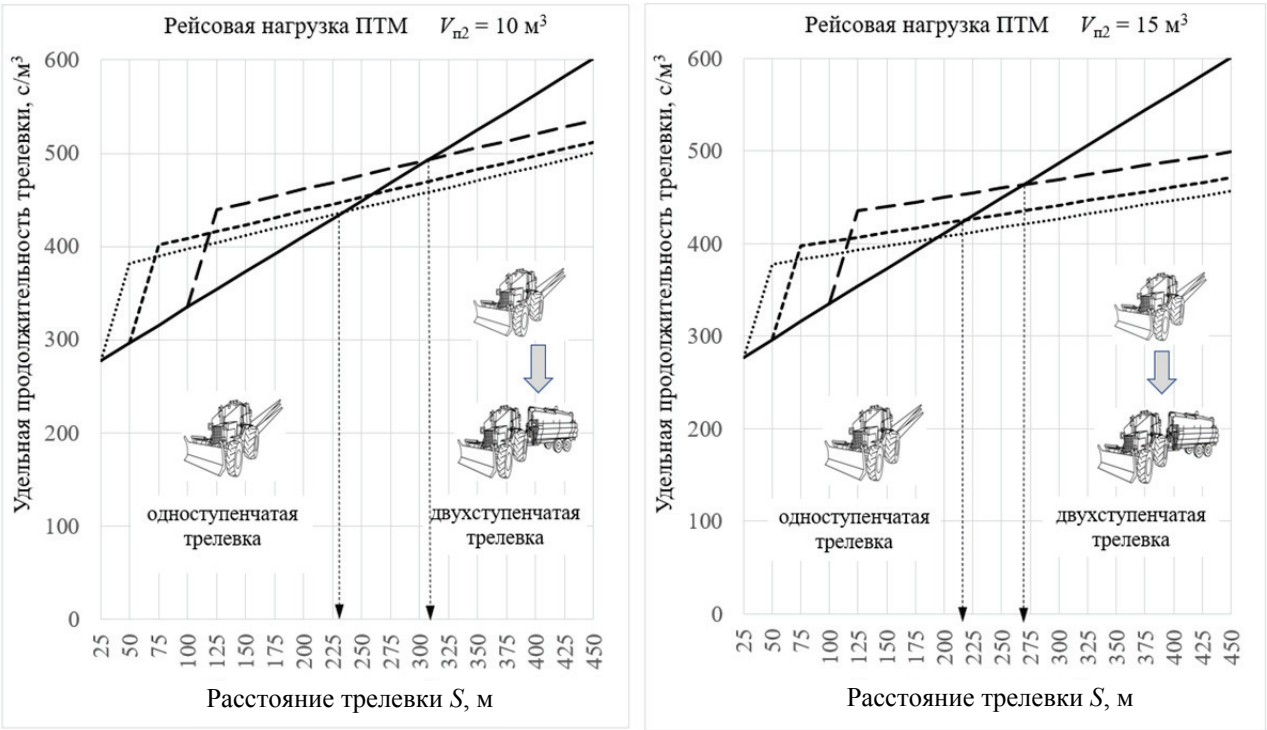
Для сравнительной оценки традиционной и двухступенчатой трелевки древесины в расчетах нами приняты следующие марки лесных машин: в качестве трелевочного трактора с канатно-чокерной оснасткой – ТТР-411 ($V_{\text{п1}}$ = 3,5 м^3); в качестве погрузочно-транспортных машин – МПТ-461.1 ($V_{\text{п2}}$ = 10 м^3) и «Амкодор 2661-01» ($V_{\text{п1}}$ = 15 м^3).

Сравнительная характеристика традиционной и двухступенчатой трелевки приведена на рис. 2 и 3.



····· протяженность первой ступени трелевки 25 м
– – протяженность первой ступени трелевки 50 м
- - - протяженность первой ступени трелевки 50 м
—— одностадийная трелевка

Рис. 2. Зависимость удельной продолжительности трелевки
от расстояния трелевки и объема хлыста



····· протяженность первой ступени трелевки 25 м
– – протяженность первой ступени трелевки 50 м
- - - протяженность первой ступени трелевки 50 м
—— одностадийная трелевка

Рис. 3. Зависимость удельной продолжительности трелевки
от расстояния трелевки и рейсовой нагрузки ПТМ

Заключение. На основании проведенного теоретического исследования установлено, что время, затрачиваемое на трелевку 1 м^3 древесины, зависит от среднего объема хлыста, расстояния трелевки и рейсовой нагрузки на трелевочный трактор и погрузочно-транспортную машину.

С увеличением среднего объема хлыста $V_{хл}$ с 0,2 до 0,8 м^3 удельная продолжительность традиционной трелевки при использовании трактора ТТР-411 с канатно-чокерной оснасткой уменьшается на 15–30%. При использовании двухстадийной трелевки в зависимости от марки применяемой ПТМ (МПТ-461.1 или «Амкодор 2661-01») данный параметр уменьшается на 18–26%. При этом одностадийная трелевка трактором ТТР-411 предпочтительна при перемещении древесины на расстояние до 190 м, двухстадийная с применением ТТР-411 и МПТ-461.1 – при перемещении древесины на расстояние свыше 260 м.

С увеличением рейсовой нагрузки на ПТМ $V_{п2}$ с 10 до 15 м^3 при постоянном среднем объеме хлыста $V_{хл}$ = 0,4 м^3 удельная продолжительность двухстадийной трелевки уменьшается на 1–9%.

При использовании погрузочно-транспортной машины МПТ-461.1 грузоподъемностью $V_{п2}$ = 10 м^3 двухступенчатая трелевка становится эффективной при перемещении древесины на расстояние свыше 310 м.

С увеличением грузоподъемности погрузочно-транспортной машины до $V_{п2}$ = 15 м^3 (применяется «Амкодор 2661-01») эффективность двухступенчатой трелевки обеспечивается при перемещении древесины на расстояние свыше 260 м.

Список литературы

1. Германович А. О., Леонов Е. А., Мохов С. П. Оборудование лесопромышленных предприятий. Практикум. Минск : БГТУ, 2020. 223 с.

2. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5–4. С. 291–295.

3. Леонов Е.А., Клоков Д. В. Технология лесозаготовок и переработки древесины. Минск: БГТУ, 2018. 231 с.

4. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Минск: БГТУ, 2016. 204 с.

5. Клоков Д. В., Турлай И. В., Леонов Е. А. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 200 с.

6. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум. Минск: БГТУ, 2015. 212 с.

7. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум / А. С. Федоренчик [и др.]. Минск: БГТУ, 2014. 274 с.

8. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: Темплан, 2009. 287 с.

9. Инновационные технологии лесосечных работ / И. Р. Шегельман [и др.]. Петрозаводск: Verso, 2016. 134 с.

10. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.

11. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.

12. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 444 с.

13. Способ разработки лесосеки: пат. 23001 Респ. Беларусь, МПК A01G23/02 / В. А. Симанович, Е. А. Леонов, Д. А. Кононович, С. Е. Арико, С. П. Мохов, С. А. Голякевич, А. А. Духовник; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № a 20180500; заявл. 04.12.2018; опубл. 27.03.2020.

References

1. Hermanovich A. O., Leonov E. A., Mokhov S. P. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Praktikum* [Equipment for timber industry enterprises. Practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2020. 223 p.

2. Ignatenko V. V., Leonov E. A. Establishment of rational parameters of multi-operation machines in the timber industry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 5–4, pp. 291–295 (In Russian).

3. Leonov E. A., Klokov D. V. *Tekhnologiya lesozagotovok i pererabotki drevesiny* [Logging and wood processing technology]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 231 p.

4. Fedorenchik A. S., Klokov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesosechnykh i lesoskladskikh rabot* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 204 p.

5. Klokov D. V., Turlay I. V., Leonov E. A. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Laboratornyy praktikum* [Equipment timber companies. Laboratory practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 200 p.

6. Fedorenchik A. S., Klokov D. V., Leonov E. A. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnoy biomassy. Praktikum* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 212 p.

7. Fedorenchik A. S., Mokhov S. P., Klokov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya. Praktikum* [Technology and equipment for the integrated use of wood raw material. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 274 p.

8. Grigor'ev I. V., Valyazhonkov V. D. *Sovremennyye mashiny i tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot* [Modern machines and technological processes logging activities]. St. Petersburg, Templan Publ., 2009. 287 p.

9. Shegel'man I. R., Laurila Ya. T., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Innovatsionnyye tekhnologii lesosechnykh rabot* [Innovative logging technology]. Petrozavodsk, Verso Publ., 2016. 134 p.

10. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.

11. Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V. *Energeticheskoye ispol'zovaniye nizkokachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 446 p.

12. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 444 p.

13. Simanovich V. A., Leonov E. A., Kononovich D. A., Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Golyakevich S. A., Dukhovnik A. A. *Sposob razrabotki lesosek* [The method of harvesting area]. Patent BY, no. a 20180500, 2020.

Информация об авторах

Леонов Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: debager13@rambler.ru

Клоков Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика машиностроительного профиля». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: klokoff_dm@ mail.ru

Исаченков Владимир Сергеевич – старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Information about the authors

Leonov Evgeniy Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: debager13@rambler.ru

Klokov Dmitriy Viktorovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Ya. Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klokoff_dm@mail.ru

Isachenkov Vladimir Sergeevich – Senior Lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Поступила 20.03.2021

УДК 629.032

Ю. А. Ким[1], М. Т. Насковец[2], Н. И. Жарков[2], В. И. Гиль[2]
[1]Белорусский национальный технический университет
[2]Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ С ДВУХСЛОЙНЫМ ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

В связи с ростом энергонасыщенности лесных машин, тракторов и техники специального назначения возрастает их масса, следовательно, увеличиваются нагрузки их ходовых систем на опорную поверхность. Возникают такие негативные явления, как переуплотнение почвогрунта выше допустимых норм, повышающие энергозатраты на передвижение.

Для учета изменения сопротивления грунтовых оснований по мере деформирования пользуются расчетными моделями, схематизирующими зависимость между нагрузкой на грунтовый массив и его осадкой. Наибольшее распространение имеет модель линейно-деформируемого полупространства. Грунт рассматривается как сплошное однородное линейно-деформируемое тело, бесконечно простирающееся вглубь и в стороны и ограниченное сверху плоскостью.

В действительности грунтовое основание, как правило, является многослойной структурой. Верхний слой имеет ограниченную толщину, а нижний представляет собой упругое полупространство. Представление грунтов в виде нескольких слоев в предположении постоянства модуля упругости для каждого из них позволяет более точно учесть естественное сложение грунтового основания.

В результате проведенных исследований получено решение, позволяющее определять величину и характер распределения напряжений, а также момент сопротивления качению колеса и его зависимость от свойств взаимодействующих тел.

Ключевые слова: колесный движитель, грунтовое основание, нагрузка на колесо, момент сопротивления качению.

Для цитирования: Ким Ю. А., Насковец М. Т., Жарков Н. И., Гиль В. И. Исследование процесса взаимодействия колесного движителя с двухслойным грунтовым основанием // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 208–211.

Yu. A. Kim[1], M. T. Naskovets[2], N. I. Zharkov[2], V. I. Gil[2]
[1]Belarusian National Technical University
[2]Belarusian State Technological University

RESEARCH OF THE INTERACTION PROCESS OF THE WHEEL DRIVE WITH DOUBLE-LAYER SOIL BASE

In connection with the increase in the energy saturation of forest machines, tractors and special-purpose equipment, their mass increases, therefore, the loads of their running systems on the supporting surface increase. There are such negative phenomena as overconsolidation of the soil above the permissible norms, which increases the energy consumption for movement.

To take into account the change in the resistance of soil foundations during deformation, calculation models are used that schematize the relationship between the load on the soil mass and its settlement. The most widespread is the model of a linearly deformable half-space. The soil is considered as a continuous homogeneous linearly deformable body, infinitely extending in depth and to the sides and bounded from above by a plane.

In reality, the subgrade is usually a multi-layer structure. The subgrade is usually a multi-layer structure. The upper layer has a limited thickness, while the lower one is an elastic half-space. Representation of soils in the form of several layers, assuming a constant modulus of elasticity for each of them, makes it possible to more accurately take into account the natural composition of the subgrade.

As a result of the research, a solution was obtained that allows one to determine the magnitude and nature of the stress distribution, as well as the moment of rolling resistance of the wheel and its dependence on the properties of interacting bodies.

Key words: wheel mover, soil base, volumetric deformation, wheel load, rolling resistance moment.

For citation: Kim Y. A., Naskovets M. T., Zharkov N. I., Gil V. I. Research of the interaction process of the wheel drive with double-layer soil base. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 208–211 (In Russian).

Введение. Эксплуатационные свойства колесных машин при взаимодействии с деформируемым опорным основанием зависят от характеристик опорного основания и наоборот, характеристики деформируемого опорного основания зависят от режимов работы и параметров применяемых колесных машин [1–3]. При рассмотрении такой взаимоувязанной системы решение поставленных исследователями задач производится с применением математических моделей и методов. Чтобы учесть многообразие характеристик опорного основания, с одной стороны, и полнее отразить влияние колесных машин на опорное основание, с другой, приходится существенно усложнять методы расчета [4]. Целью данного исследования является теоретический расчет величины усилий и момента сопротивления качению колеса и его зависимость от свойств взаимодействующих тел. Предметом и объектом исследований является взаимодействие колесного движителя с грунтовым основанием.

Основная часть. Воздействие колесного движителя ходовой системы транспортного средства на деформируемую грунтовую поверхность вызывает в грунтовом массиве напряженно-деформируемое состояние. При этом в нем происходят сложные процессы, связанные с разрушением частиц и структурных агрегатов, выжиманием воды и воздуха из пор [5]. Для разных грунтов доля того или иного явления зависит от плотности, влажности и других свойств грунта. Сжатие защемленных объемов воздуха определяют упругие деформации [6]. В общем случае грунт является вязко-упруго-пластичным, анизотропным телом. При кратковременном воздействии преобладают упругие деформации [7]. Кроме того, грунтовое основание, как правило, является многослойным. Верхний слой имеет ограниченную толщину, а нижний представляет собой упругое полупространство**.** Во многих случаях глубина распространения напряжений превышает толщину верхнего слоя, тогда влияние на деформацию оказывает подстилающее основание [8]. При этом принцип непрерывности материи полностью остается в силе и отдельно выделенные слои сохраняют плотное соприкосновение [9], [10]. Таким образом, представление грунтовой залежи в виде нескольких слоев, в предположении постоянства модуля упругости для каждого из них, позволяет более точно учесть естественное сложение грунтового основания.

Исходные данные:

R_k – радиус колеса;

B – половина ширины колеса;

$R_y = R_k - \alpha y^4$ – уравнение профиля шины; $\alpha = 0{,}00000077$;

E – модуль деформации материала первого слоя;

E^* – модуль деформации материала второго слоя;

σ – величина упругого восстановления грунта;

λ, μ – коэффициенты Ляме первого слоя;

λ^*, μ^* – коэффициенты Ляме второго слоя;

P_w – давление воздуха в шине;

c – коэффициент податливости шины;

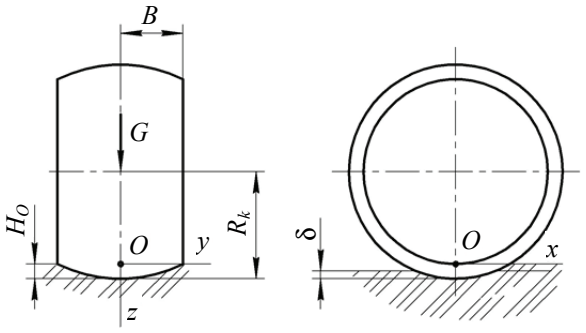
H_0 – глубина погружения колеса в грунт;

G – нагрузка на колесо;

M_f – момент сопротивления качению колеса;

h – толщина первого слоя;

L, H – периоды изменения координат x и y.



Расчетная схема

На рисунке показана расчетная схема, ниже представлена последовательность расчетов.

Определяем постоянные коэффициенты и периоды изменения координат x и y: $z = 4R_k$, $H = 4B$.

$$\lambda = \frac{E\sigma}{(1+\sigma)(1-\sigma)};\ \lambda^* = \frac{E^*\sigma^*}{(1+\sigma^*)(1-\sigma^*)}; \quad (1)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)};\ \mu^* = \frac{E^*}{2(1+\sigma^*)};\ k = \frac{\lambda}{\mu};\ k^* = \frac{\lambda^*}{\mu^*}; \quad (2)$$

$$A = -\frac{k+1}{k+3},\ A^* = -\frac{k^*+1}{k^*+3}; \quad (3)$$

$$N = \frac{(1+A^*)(\lambda^*+2\mu^*)}{(1+A)(\lambda+2\mu)};\ M = cP_w + \frac{a_{00}}{4}. \quad (4)$$

При k и i = 1, 2, 3..., 10 находим:

$$e_i(h) = e^{-(\frac{i\pi}{H})h};\ e_k(h) = e^{-(\frac{k\pi}{z})h}; \quad (5)$$

$$e(h) = e^{-\pi\sqrt{\frac{k^2}{z^2}+\frac{i^2}{H^2}}h};\ e = 2{,}71. \quad (6)$$

Определяем вид функции $f(x, y)$ и абсциссы границ пятна контакта $x_1(y)$, $x_2(y)$:

$$f(x,y) = H_0 - R_k + \sqrt{(R_k - \alpha y^4)^2 - x^2}; \quad (7)$$

$$x_1(y) = -\sqrt{2(R_k - \alpha y^4)(H_0 - \alpha y^4)\delta - (H_0 - \alpha y^4)^2\delta^2};$$

$$x_2(y) = \sqrt{(R_k - \alpha y^4)^2 - (R_k - H_0)^2}. \quad (8)$$

Находим коэффициенты разложения в ряд функции $f(x, y)$:

$$a_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} \int_{-B}^{B} f(x,y) c_k(x) dx \cdot c_i(y) dy;$$

$$b_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} \int_{-B}^{B} f(x,y) c_k(x) dx \cdot s_i(y) dy;$$

$$\alpha_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} \int_{-B}^{B} f(x,y) c_i(x) dx \cdot s_k(y) dy;$$

$$\beta_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} \int_{-B}^{B} f(x,y) s_i(x) dx \cdot s_k(y) dy. \quad (9)$$

Определяем коэффициенты разложения в ряд постоянной $M = \frac{a_{00}}{4} + cP_w$:

$$\delta_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^{B} [\int_{x_1(y)}^{x_2(y)} c_k(x) dx] c_i(y) dy;$$

$$\gamma_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^{B} [\int_{x_1(y)}^{x_2(y)} c_k(x) dx] s_i(y) dy;$$

$$\varepsilon_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^{B} [\int_{x_1(y)}^{x_2(y)} s_k(x) dx] c_i(y) dy;$$

$$\mu_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^{B} [\int_{x_1(y)}^{x_2(y)} s_k(x) dx] s_i(y) dy. \quad (10)$$

Находим коэффициенты разложения в ряд функции $\varphi_3(x, y, z)$.

Поскольку эта функция является гармонической, то решение удобно представить в виде ряда Фурье [11].

Находим функцию $\varphi_3(x, y, 0)$ и при $z = 0$ строим форму поверхности контакта:

$$\varphi_3(x,y,0) = \sum_{i=1}^{10} [A_{0i} c_i(y) + B_{0i} s_i(y)] e_i(z) +$$
$$+ \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [A_{ki} c_k(x) c_i(y) + B_{ki} c_k(x) s_i(y)] e(z) +$$
$$+ \sum_{k=1}^{10} [c_{k0} s_k(x) + D_{k0} c_k(x)] e_k(z) +$$
$$+ \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [c_{ki} c_i(y) s_k(x) + D_{ki} s_i(y) s_k(x)] e(z). \quad (11)$$

Определяем давление в контакте P_{zz_0}:

$$P_{zz_0} = -\sum_{i=1}^{10} [P_{1i} c_i(y) + P_{2i} s_i(y)] -$$
$$-\sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [Q_{1ik} c_k(x) c_i(y) + Q_{2ik} c_k(x) s_i(y)] -$$
$$-\sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [E_{1ik} s_k(x) c_i(y) + E_{2ik} s_k(x) s_i(y)] -$$
$$-\sum_{k=1}^{10} [F_{1k} c_k(x) + F_{2k} s_k(x)]. \quad (12)$$

Находим нагрузку на колесо G:

$$G = \iint_{(F)} P_{zz_0} dF. \quad (13)$$

Определяем момент сопротивления качению M_f:

$$M_f = \iint_{(F)} P_{zz_0} x dF. \quad (14)$$

Заключение. В результате проведенных исследований получено решение, позволяющее определять величину и характер распределения усилий, а также момент сопротивления качению колеса и его зависимость от свойств взаимодействующих тел.

Список литературы

1. Уменьшение отрицательного воздействия мобильных агрегатов на почву / И. С. Рабочев [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 4. С. 90–94.

2. Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву. 1981. С. 56–61.

3. Алексейчик Н. А. Будько Ю. В., Терехов Б. А. Повышение проходимости сельскохозяйственных машин. Минск: Урожай, 1979. 139 с.

4. Орнатский Н. В. Механика грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1962. 435 с.

5. Кацыгин В. В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий // Вопросы земледельческой механики. 1975. Т. 8. С. 3–142.

6. Бабков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механика грунтов. М.: Высшая школа, 1976. 325 с.

7. Золотаревская Д. И. Зависимость между сжимающими напряжениями и осадкой почв // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. № 2. С. 30–32.

8. Ксеневич И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.

9. Филоненко-Бородич М. М. Теория упругости. М.; Л.: ОГИЗ, 1947. 295 с.

10. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: МГУ, 1968. Ч. 1. 436 с.

11. Романовский П. И. Ряды Фурье. М.: Наука, 1973. 334 с.

References

1. Rabochev I. S., Bakhtin P. U., Gavalov I. V., Aksenenko V. D. Reduction of the negative impact of mobile aggregates on soil. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Agricultural Science], 1979, no. 4, pp. 90–94 (In Russian).

2. Gaponenko V. S. On ways to reduce the sealing effect of machine-tractor aggregates on the soil. *Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu* [Influence of agricultural machinery on soil], 1981, pp. 56–61 (In Russian).

3. Alekseychik N. A., Budko Yu. V., Terekhov B. A. *Povysheniye prokhodimosti sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Raising the passability of agricultural machines]. Minsk, Urozhay Publ., 1979. 139 p.

4. Ornatskiy N. V. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow, MGU Publ., 1962. 435 p.

5. Katcygin V. V. Fundamentals of the theory of choosing the optimal parameters of mobile agricultural machinery and implements. *Voprosy zemledel'cheskoy mekhaniki* [Agricultural mechanics issues], 1975, Vol. 8, pp. 3–142 (In Russian).

6. Babkov V. F., Bezruk V. M. *Osnovy gruntovedeniya i mekhanika gruntov* [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976. 325 p.

7. Zolotarevskaya D. I. The relationship between compressive stresses and soil sediment. *Mekhanizatsia i elektrifikatsia sel'skogo khozyaystva* [Agricultural mechanization and electrification], 1980, no. 2, pp. 30–32 (In Russian).

8. Ksenevich I. P., Skotnikov V. A., Lyasko M. I. *Khodovya sistema – pochva – urozhay* [Running system – soil – harvest]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 304 p.

9. Filonenko-Borodich M. M. *Teoriya uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow, OGIZ Publ., 1947. 295 p.

10. Sedov L. I. *Mekhanika sploshnoy sredy. Chast' I* [Continuum mechanics. Part 1]. Moscow, MGU Publ., 1968. 436 p.

11. Romanovskiy P. I. *Ryady Fur'ye* [Fourier Series]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 334 p.

Информация об авторах

Ким Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики машиностроительного профиля. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Насковец Михаил Трофимович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

Жарков Николай Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zharkov@belstu.by

Гиль Виталий Иванович − кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.gil@belstu.by

Information about the authors

Kim Yuriy Alekseevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Ya. Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Naskovets Mikhail Trofimovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Zharkov Nikolay Ivanovich – PhD (Engineering), Assitstant Professor, Senior Researcher of the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zharkov@belstu.by

Gil Vitaliy Ivanovish – PhD (Engineering), Senior Lecture, the Department of Engineering Graphics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.gil@belstu.by

Поступила 13.03.2021

УДК 621.785.533

В. А. Симанович, М. Н. Пищов, С. Е. Бельский, Ф. Ф. Царук, Д. Н. Скворцов
Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ

В статье проанализированы условия эксплуатации лесных мобильных машин. Установлено, что при средних режимах нагружения мобильного трелевочного трактора крутящий момент на деталях переднего ведущего моста не превышает 1000 Нм. В случае перегрузки заднего моста трелевочного трактора, когда пачка деревьев подвешена в силовом контуре оборудования максимальные моменты на задних полуосях достигают величин в 2–2,5 раза превышающих момент при трогании трактора. Это приводит к образованию на контактной поверхности зубчатых пар остаточных пластических деформаций, что значительно сокращает их общий ресурс. На основании проведенных исследований определены детали трансмиссии, вышедшие из строя в результате интенсивного износа, также установлен механизм их разрушения. Предложена технология их поверхностного упрочнения порошковыми смесями, содержащими бор, алюминий и кремний (борирование и боросилицирование), которая значительно сокращает износ данных деталей, тем самым увеличивает время эксплуатации тяжелонагруженных деталей трансмиссий лесных мобильных машин.

Установлено, что при упрочнении тяжелонагруженных и быстроизнашивающихся деталей трансмиссий лесных мобильных машин комплексным борированием повышаются допускаемые контактные напряжения поверхностного слоя, которые предотвращают износ поверхности, а также образование пластических деформаций на глубине 200–250 мкм, что приводит к увеличению эксплуатационного ресурса данных деталей.

Ключевые слова: эксплуатация, детали трансмиссий, лесные машины, износостойкость, зубчатые колеса, поверхностное упрочнение, шероховатость поверхности, микротвердость.

Для цитирования: Симанович В. А., Пищов М. Н., Бельский С. Е., Царук Ф. Ф., Скворцов Д. Н. Анализ основных условий эксплуатации и динамической нагруженности ответственных деталей трансмиссии трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 212–217.

V. A. Simanovich, M. N. Pishchov, S. Ye. Belsky, F. F. Tsaruk, D. N. Skvortsov
Belarusian State Technological University

ANALYSIS OF YHE MAIN OPERATING CONDITIONS AND DYNAMIC LOADING OF CRITICAL PARTS OF THE TARNSMISSION OF SKIDDERS

The article analyzes the operating conditions of forest mobile machines. It was found that under medium loading conditions of a mobile skidder, the torque on the parts of the front drive axle does not exceed 1000 Nm. In case of overloading of the rear axle of the skidder, when a pack of trees is suspended in the power circuit of the equipment, the maximum moments on the rear axle shafts reach values 2–2.5 times higher than the moment when starting the tractor. This leads to the formation of residual plastic deformations on the contact surface of the gear pairs, which significantly reduces their total resource. On the basis of the studies carried out, transmission parts that have failed as a result of intense wear were identified, and the mechanism of their destruction was also established. A technology for their surface hardening with powder mixtures containing boron, aluminum and silicon (boronation and borosiliconization) is proposed, which significantly reduces the wear of these parts, thereby increasing the operating time of heavily loaded transmission parts of forest mobile machines.

It was found that when strengthening heavy-loaded and high-wearing parts of transmissions of forest mobile machines by complex boriding, the permissible contact stresses of the surface layer increase, which prevent surface wear, as well as the formation of plastic deformations to a depth of 200–250 microns, which leads to an increase in the service life of these parts.

Key words: operation, transmission parts, forestry machines, wear resistance, gear wheels, surface hardening, surface roughness, microhardness.

For citation: Simanovich V. A., Pishchov M. N., Belsky S. E., Tsaruk F. F., Skvortsov D. N. Analysis of the main operating conditions and dynamic loading of critical parts of the transmission of skidders. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry, Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 212–217 (In Russian).

Введение. В настоящее время на заготовке древесины предпочтение отдается колесным машинам, обладающим по сравнению с гусеничными лучшей управляемостью и маневренностью, более высокими скоростными показателями, эргономическими качествами и надежностью, меньшей металлоемкостью и затратами на обслуживание. Создавались лесные трелевочные машины преимущественно на базе тракторов общего назначения с применением навесных приспособлений для специфических условий работы (рис. 1). Как правило, создание отечественных лесных мобильных машин позволит не только нарастить объемы добычи древесины, но и перейти на новые, ресурсосберегающие и экологически чистые методы ее заготовки.

Так, было доказано, что условия эксплуатации ряда сложнонагруженных деталей лесных машин характеризуются значительным трением, интенсивным износом их рабочих поверхностей, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона [1–6]. В связи с этим возникает необходимость в их дополнительном упрочнении методами, позволяющими получать более высокую поверхностную твердость. Для повышения износостойкости деталей машин, а также их восстановления при ремонте широко применяют различные виды поверхностного упрочнения: цементацию, азотирование, цианирование и др. Однако в условиях максимальных нагрузок, возникающих при работе ряда лесных машин, например трелевочных тракторов, твердость зубчатых колес трансмиссии является недостаточной.

Рис. 1. Трелевочный трактор ТТР-401
с портальным типом переднего ведущего моста

Основная часть. Оценка динамической нагруженности деталей трансмиссии трелевочного трактора. Работа колесных агрегатных машин на трелевке и вывозке древесины должна производиться комплексно с учетом факторов, оказывающих наибольшее влияние на эксплуатационные условия.

Исследования динамической нагруженности узлов и агрегатов лесозаготовительных машин обычно начинаются с выбора и построения физической модели, которая отражает взаимное расположение и влияние основных подсистем машины (двигатель, трансмиссия, шасси, кабина, человек, пачка хлыстов) и возмущающих факторов (неровности поверхности дороги, неравномерность работы двигателя и гидросистем).

При построении математической модели системы «трелевочный трактор – пачка деревьев» необходимо производить учет работы подсистем, обладающих упругодемфирующими свойствами. Это особенно важно для машин, у которых отсутствуют узлы подвески как рессоры и амортизаторы, балансирная тележка и реактивные рычаги. Основными причинами, вызывающими колебания колесного трелевочного трактора, также являются неровности поверхности пути, которые вызывают колебания нагрузки в вертикальной и продольно-угловой плоскостях, неуравновешенность работы двигателя внутреннего сгорания, вращающихся частей (колеса, шестерни, валы), инерционные силы, изменение скорости и направления движения, а также другие факторы.

Источникам внешних возмущающих воздействий для колесных лесных машин является трелевочный волок, по которому перемещается пачка деревьев. При движении трелевочного трактора с пачкой деревьев по волоку приходится преодолевать неровности различного характера, которые вызывают колебательные явления в узлах и агрегатах трансмиссии, ходовой системе и несущих элементах технологического оборудования.

Автор работы [1] при оценке характера внешних воздействий показал, что ряд типичных препятствий в виде пней, валежин и отдельно лежащих деревьев имеет значительные геометрические размеры, достигающие в отдельных случаях высоты до 0,5 м при небольшой протяженности по линии движения. Препятствия порогового типа являются источниками максимальных пиковых нагрузок, возникающих в агрегатах трелевочного трактора.

Воздействие возмущающих факторов случайного характера на транспортную систему представляется в виде случайного процесса, поэтому объективными критериями оценки могут служить только соответствующие вероятностные показатели. При исследовании переходных процессов в качестве оценочных показателей принимаются пиковые значения линейных и угловых отклонений звеньев динамической системы, а также их продолжительность.

Нами было установлено, что при средних режимах нагружения трелевочного трактора

крутящий момент на деталях переднего ведущего моста не превышает 1000 Нм. В случае перегрузки заднего моста трелевочного трактора, когда пачка деревьев подвешена в силовом контуре оборудования, максимальные моменты на задних полуосях достигают величин, в 2–2,5 раза превышающих момент при трогании трактора. Это, в свою очередь, приводит к разгрузке переднего моста и ухудшению сцепных качеств. Авторами работы [2] установлено, что динамические крутящие моменты в трансмиссии колесного трактора имеют наибольшее значение при трогании с места с пачкой деревьев. Установлено, что для колесных трелевочных тракторов производства МТЗ наиболее нагруженными являются шестерни третей и четвертой передачи, а также редуктор переднего моста.

Для того чтобы оценить перегрузки при работе трелевочных тракторов на лесосеке, было предложено ввести коэффициент динамичности $К_д$, который равен отношению максимального крутящего момента M_{max} к установившемуся $M_{ср}$:

$$К_д = \frac{M_{max}}{M_{ср}}.$$

На основании исследований авторов [2] было установлено, что коэффициент динамичности для работы трелевочных тракторов составляет 1,8–3,1, в то время как для сельскохозяйственных тракторов – 1,2–1,3. Резкое увеличение крутящего момента на полуосях переднего ведущего моста трелевочного трактора до 2500–3000 Нм приводит к их выходу из строя.

Разработана расчетная модель колесного трелевочного трактора ТТР-401, позволяющая учитывать внутренние возмущающие воздействия от источника заданной ограниченной мощности, каким является двигатель внутреннего сгорания.

На первом этапе исследований раздельно рассматривались две динамические системы и их поведение в эксплуатационных режимах: колесный трактор как активная система колеса, которой реализуют крутящий момент в касательную силу тяги и взаимосвязь пачки деревьев с базовым трактором через связующий элемент технологического оборудования. Это позволило установить частотные диапазоны двух систем и классифицировать колебательные явления по их величине. Последующим этапом являлось соединение представленных подсистем в единую с целью взаимовлияния их друг на друга. Этот этап исследований позволил выявить влияние параметров пачки и конструкции подвеса на величины уровня динамической нагруженности.

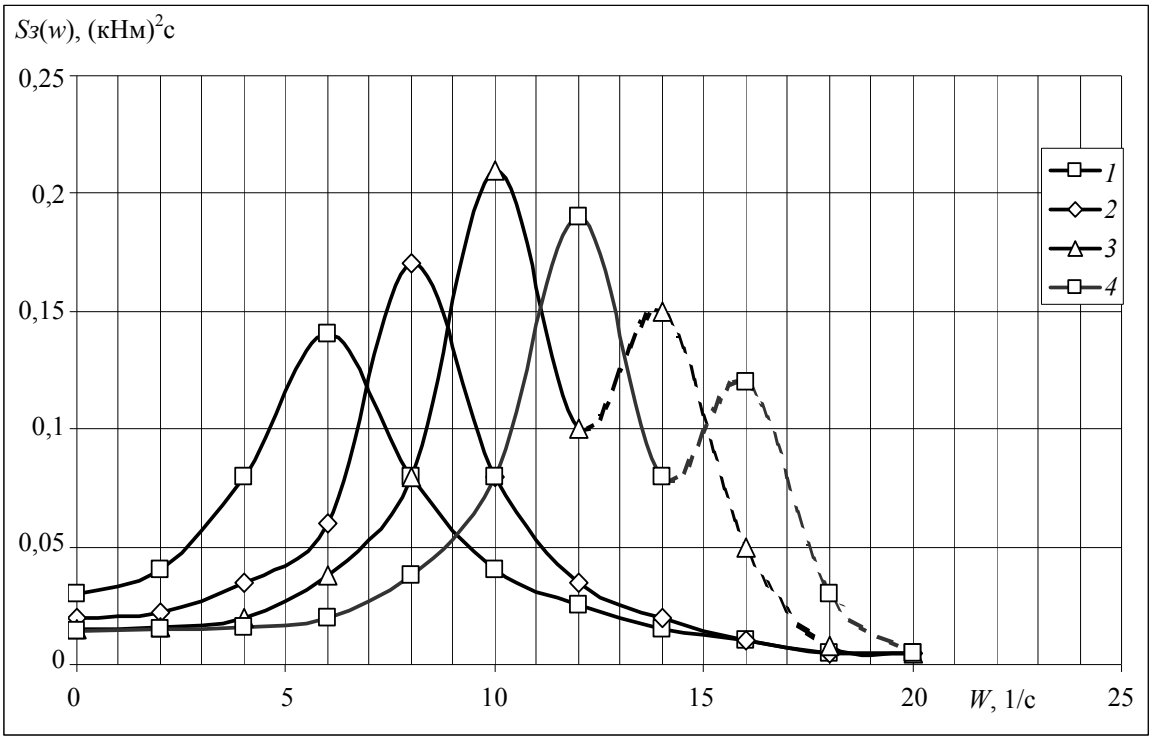
Оценка динамической нагруженности лесного колесного тягача проводилась по величинам спектральной плотности крутящих моментов на полуосях. На рис. 2 приведены спектральные плотности крутящих моментов на задних и передних полуосях трелевочного трактора ТТР-401 на 2–5 передачах с пачкой хлыстов объемом 1,4 $м^3$ при движении по трелевочному волоку. Опыт эксплуатации машин ТТР-401, МЛ-127 показал, что рабочие скорости на трелевке зависят от подготовки волоков и при благоприятных условиях работы составляют 5–12 км/ч. Такой широкий диапазон объясняется тем, что при больших расстояниях трелевки скорость возрастает, а при расстоянии 80–120 м колесные машины не могут использовать свои скоростные возможности.

Как уже было отмечено выше, условия эксплуатации ряда ответственных и сложнонагруженных деталей лесных мобильных машин характеризуются интенсивным износом их рабочих поверхностей, что приводит к выходу их из строя. В связи с этим возникает необходимость в их дополнительном упрочнении методами, позволяющими получать более высокую поверхностную твердость. Технологический процесс упрочнения деталей трансмиссий лесных машин борированием и боросилицированием по сравнению с другими способами диффузионного насыщения (например, базовой цементацией) проводится при относительно меньшем времени насыщения. Это преимущество наряду с практически одинаковой температурой насыщения (920–950°С) и обусловило использование данного метода упрочнения, который может осуществляться в ремонтных мастерских лесопромышленных предприятий для деталей трансмиссий трелевочных тракторов [7–11].

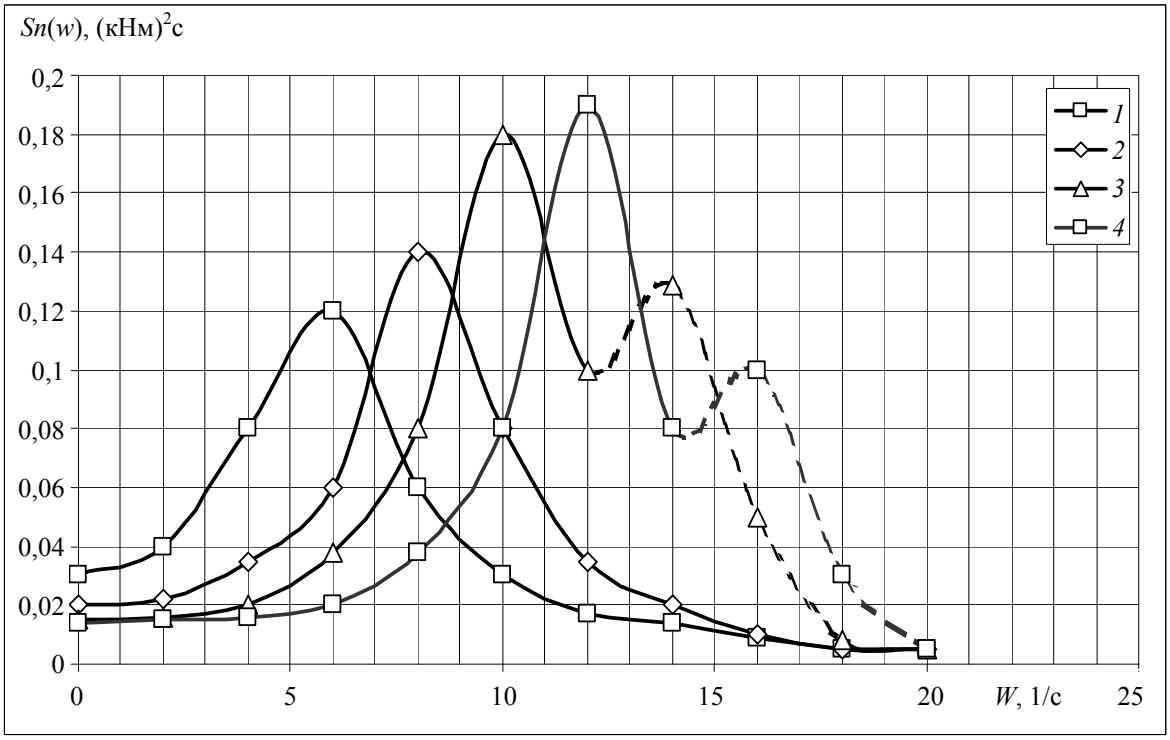
Так, установлено, что как при борировании, так и при боросилицировании максимальная твердость достигается на поверхности стали с постепенным уменьшением по глубине упрочненного слоя, что является весьма оптимальным при упрочнении тяжелонагруженных зубчатых колес [12, 13]. Распределение микротвердости по глубине упрочненного борированием и боросилицированием слоя связано с его фазовым составом. Было установлено, что при борировании образуется достаточно резкий переход от упрочненного слоя к основе металла, что способствует созданию на границе дополнительных напряжений. Связано это с образованием в упрочненном слое фазы FeB. При упрочнении боросилицированием наблюдается более плавный переход к основе металла, отсутствуют резкие изменения микротвердости по глубине слоя, что свидетельствует об образовании в слое менее твердых фаз Fe_2B и FeSi. Это делает возможным применение данного способа упрочне-

ния для зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов.

В соответствии с этим можно выделить три зоны с соответствующей микротвердостью при боросилицировании: зона, насыщенная бором и кремнием (11200–11800 МПа), переходная зона (7800–9000 МПа) и сердцевина (5000–5600 МПа).



а



б

Рис. 2. Спектральные плотности крутящих моментов на задних (*а*) и передних (*б*) полуосях трелевочного трактора ТТР-401 при движении на различных передачах с пачкой $V = 1{,}4$ м^3: *1*, *2*, *3*, *4* – соответственно первая, вторая, третья, четвертая передачи

Выводы. Как уже было отмечено выше, условия эксплуатации ряда ответственных и сложнонагруженных деталей лесных мобильных машин характеризуются интенсивным износом их рабочих поверхностей, что приводит к выходу их из строя. Для того чтобы повысить поверхностную твердость зубьев деталей трансмиссий лесных мобильных машин, применяют борирование и боросилицирование. Установлено, что при боросилицировании повышение допускаемых контактных напряжений для предотвращения образования пластических деформаций обеспечивается не только на поверхности, но и на глубине 200–250 мкм. Повышение твердости на глубине 200−250 мкм также обеспечивает предотвращение глубинного контактного выкрашивания упрочненного слоя.

Список литературы

1. Аникин Н. И. Снижение динамической нагруженности и повышение долговечности трансмиссий лесопромышленных колесных тракторов на основе анализа динамических процессов в характерных условиях эксплуатации: автореф. дис. … канд. техн. наук: М., 1988. 20 с.

2. Островерхов Н. Л., Русецкий И. К., Бойко Л. И. Динамическая нагруженность трансмиссий колесных машин // Наука и техника. Минск, 1977. С. 78–80.

3. Симанович В. А., Исаченков В. С. Разработка приведенной расчетной модели «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев» // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть, 2005. Вып. XIII. С. 138–142.

4. Жорин А. В. Обоснование параметров трелевочной машины на базе сельскохозяйственного трактора кл. 1,4: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.21.01. Минск: БГТУ, 1997. 18 с.

5. Симанович В. А., Пищов М. Н. , Смеян А. И. Эксплуатационная оценка работы колесных лесных агрегатных машин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 92–95.

6. Пищов М. Н., Симанович В. А., Бельский С. Е. Исследование условий эксплуатации и динамической нагруженности деталей трансмиссии трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 113–115.

7. Ворошнин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. Минск: Беларусь, 1981. 205 с.

8. Ворошнин Л. Г., Ляхович Л. С., Фунштейн Я. Н. Борирование порошкообразными смесями // МиТОМ. 1966. № 12. С. 67–69.

9. Ляхович Л. С., Ворошнин Л. Г., Панич Г. Г. Многокомпанентные диффузионные покрытия. Минск: Наука и техника, 1974. 289 с.

10. Ситкевич М. В., Пищов М. Н., Бельский С. Е. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин // Литье и металлургия. 2008. С. 140–146.

11. Ситкевич М. В., Пищов М. Н., Бельский С. Е. Структура и свойства поверхностных слоев зубчатых передач, упрочненных комплексным борированием // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10-й Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–18 апреля 2008 г. СПб., 2008. Ч. 2. С. 346–353.

12. Бельский С. Е., Сурус А. И., Пищов М. Н. Определение оптимальных параметров процесса борирования деталей лесных машин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 267–270.

13. Макаревич С. С., Пищов М. Н., Бельский С. Е. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 327–330.

References

1. Anikin N. I. *Snizheniye dinamicheskoy nagruzki i uvelicheniye dolgovechnosti transmissiy lesnykh kolesnykh traktorov na osnove analiza dinamicheskikh protsessov v kharakternykh usloviyakh ekspluatatsii. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Decrease in dynamic loading and increase in durability of transmissions of forestry wheeled tractors based on the analysis of dynamic processes in characteristic operating conditions. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Moscow, 1988. 20 p.

2. Ostroverkhov N. L., Rusetskiy I. K., Boyko L. I. Dynamic loading of transmissions of wheeled vehicles. *Nauka i tekhnika* [Science and Technology], 1977, pp. 78–80 (In Russian).

3. Simanovich V. A., Isachenkov V. S. Development of the design model “wheeled tractor-trailer module-pack of trees”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2005, issue XIII, pp. 138–142 (In Russian).

4. Zhorin A. V. *Obosnovaniye parametrov trelevochnoy mashiny na baze sel'skokhozyaystvennogo traktora kl. 1,4. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Justification of the parameters of a skidder based on an agricultural tractor class. 1.4. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 1997. 18 p.

5. Simanovich V. A., Pishchov M. N., Smeyan A. I. Operational evaluation of the work of wheeled forest modular machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 92–95 (In Russian).

6. Pishchov M. N., Simanovich V. A., Belsky S. Ye. Study of operating conditions and dynamic loading of transmission parts of skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue. XVII, pp. 113–115 (In Russian).

7. Voroshnin, L. G. *Borirovaniye promyshlennykh staley i chugunov* [Boroning of industrial steels and cast irons]. Minsk, Belarus' Publ., 1981. 205 p.

8. Voroshnin L. G., Lyakhovich L. S., Funshteyn Ya. N. Boronirovanie powdered mixtures. *MiTOM* [MiTOM], 1966, no. 12, pp. 67–69 (In Russian).

9. Lyakhovich L. S., Voroshnin L. G., Panich G. G. *Mnogokompanentnyye diffuzionnyye pokrytiya* [Multicomponent diffusion coatings]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1974. 289 p.

10. Sitkevich M. V., Pishchov M. N., Belsky S. Ye. The effect of complex boride hardening on the structure and properties of the surface layers of steels for the manufacture of gear parts of skidding forest machines. *Lit'ye i metallurgiya* [Casting and metallurgy], 2008, pp. 140–146 (In Russian).

11. Sitkevich M. V., Pishchov M. N., Belsky S. Ye. The structure and properties of the surface layers of gears hardened by complex boronation. *Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoy osnastki: materialy 10-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Technologies for repair, restoration and hardening of machine parts, mechanisms, equipment, tools and technological equipment: materials of the 10th International scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2008, part 2, pp. 346–353 (In Russian).

12. Belsky S. Ye., Surus A. I., Pishchov M. N. Determination of the optimal parameters of the process of boring parts of forest machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], seies. II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue. XV, pp. 267–270 (In Russian).

13. Makarevich S. S., Pishchov M. N., Belsky S. Ye. The model of the stress state of the teeth of the parts of the transmissions of skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 327–330 (In Russian).

Информация об авторах

Симанович Василий Антонович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Simanovish@belstu.by

Пищов Михаил Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Pishchou@belstu.by

Бельский Сергей Евграфович – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dmiptu@belstu.by

Царук Федор Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Tsaruk@belstu.by

Скворцов Дмитрий Николаевич – студент, факультет ЛИД, 4 курс, Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Skvorsh@mail.ru

Information about the authors

Simanovich Vasily Antonovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Machines, Roads and Technologies of Timber Industry. Belarusian State Technological University (220006, Minsk, Sverdlova str, 13a, Republic of Belarus). E-mail: Simanovish@belstu.by

Pishchov Mikhail Nikolayevish – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Pishchou@belstu.by

Belsky Sergey Yevgrafovich – PhD (Engineering), Professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dmiptu@belstu.by

Tsaruk Fedor Fedorovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Tsaruk@belstu.by

Skvortsov Dmitry Nikolayevich – student. Belarusian State Technological University (220006, Minsk, Sverdlova str., 13a, Republic of Belarus). E-mail: Skvorsh@mail.ru

Поступила 23.03.2021

УДК 630*377.4

В. С. Исаченков, С. Е. Арико, В. А. Симанович
Белорусский государственный технологический университет

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН

При лесосечных работах на участках со слабой несущей способностью почвогрунтов повышение тягово-динамических качеств колесных трелевочных машин может быть достигнуто совершенствованием конструкции двигателя, трансмиссии, ходовой части или технологического оборудования. Такими изменениями можно добиться перераспределения нагрузок на несущие системы в процессе движения и снизить динамическую нагруженность машин, увеличив их производительность и долговечность. Основным путем дальнейшего развития конструкции колесных трелевочных машин, на наш взгляд, является совершенствование технологического оборудования, правильный выбор параметров которого обусловлен природно-климатическими условиями лесозаготовок.

В статье представлены математические модели движения колесной трелевочной машины с различным по конструктивным особенностям прицепным технологическим оборудованием. В качестве опорной системы принималась трехосная тележка.

Проведена теоретическая оценка динамической нагруженности основных элементов конструкции колесной трелевочной машины и технологического оборудования.

На основе анализа полученных результатов предложен наиболее рациональный вариант параметров конструкции технологического оборудования для колесной трелевочной машины при работе на грунтах со слабой несущей способностью, который позволяет минимизировать динамическую нагруженность и энергетические затраты в процессе трелевки.

Ключевые слова: математическая модель, колесная трелевочная машина, технологическое оборудование.

Для цитирования: Исаченков В. С., Арико С. Е., В. А. Симанович В. А. К вопросу выбора параметров технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 218–223.

V. S. Isachenkov, S. Ye. Ariko, V. A. Simanovich
Belarusian State Technological University

ON THE QUESTION OF CHOOSING THE PARAMETERS OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF SKIDDERS

When logging operations in areas with weak bearing capacity of soils, an increase in the traction and dynamic qualities of wheeled skidders can be achieved by improving the design of the engine, transmission, chassis or technological equipment. Such changes can achieve a redistribution of loads on the load-bearing systems in the process of movement and reduce the dynamic load of machines, increasing their productivity and durability. The main way to further develop the design of wheeled skidders, in our opinion, is to improve the technological equipment, the correct choice of parameters of which is due to the natural and climatic conditions of logging.

The article presents mathematical models of the movement of a wheeled skidder with trailed technological equipment of different design features. A three-axle bogie was taken as a support system.

A theoretical assessment of the dynamic loading of the main structural elements of a wheeled skidder and technological equipment has been carried out.

Based on the analysis of the results obtained, the most rational version of the design parameters of technological equipment for a wheeled skidder when working on soils with a weak bearing capacity is proposed, which allows you to minimize the dynamic loading and energy costs during the skidding process.

Key words: mathematical model, skidder, technological equipment, dynamic loading.

For citation: Isachenkov V. S., Ariko S. Ye., Simanovich V. A. On the question of choosing the parameters of the technological equipment of skidders. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 218–223 (In Russian).

Введение. Основной процесс лесозаготовки включает в себя взаимосвязанные последовательные операции, такие как валка деревьев, обрезка сучьев, при необходимости раскряжевка на том или ином этапе, трелевка и последующая вывозка древесного сырья потребителям.

Большинство операций на сегодняшний день выполняются комплексами машин и механизмов. Однако для значительной части лесосечного фонда, расположенного на почвогрунтах со слабой несущей способностью, остается открытым вопрос целесообразного способа трелевки. Процесс трелевки включает в себя холостой ход трелевочной машины, формирование пачки хлыстов или сортиментов, рабочий ход и разгрузку пачки на погрузочном пункте [1, 2]. На заготовке древесного сырья в Республике Беларусь в указанных условиях работы в настоящее время используются колесные трелевочные машины (КТМ) с канатно-чокерным технологическим оборудованием, в частности ТТР-401 и ТТР-411 различных модификаций.

Для преодоления участка трелевочных или магистральных волоков со слабой несущей способностью почвогрунта при буксовании для этих машин во время рабочего хода используется прием сброса пачки с последующим ее подтаскиванием [3]. Основными путями повышения тягово-динамических качеств КТМ являются совершенствование двигателя, трансмиссии, ходовой части и обоснованный выбор типа технологического оборудования, за счет чего можно добиться перераспределения нагрузок на несущую систему в процессе движения и тем самым снизить динамическую нагруженность, а также повысить проходимость [4–7].

Для решения данной задачи предлагается изменить конструкцию технологического оборудования установкой дополнительной опорной системы с возможностью использования в качестве как навесного, так и прицепного варианта. В начальный момент буксования технологическое оборудование переводится из навесного положения в прицепное, и КТМ, не теряя темпа работы, преодолевает проблемный участок. После преодоления указанного участка технологическое оборудование переводится в навесное положение, что значительно снижает энергетические потери во время преодоления участков с удовлетворительной несущей способностью почвогрунта.

В ранее выполненных работах [8–10] были теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены основные параметры прицепного технологического оборудования (ПТО). Однако дальнейшие исследования поставили вопрос о необходимости сравнительного анализа различных по конструктивным особенностям типов применяемого технологического оборудования, а также конструкции опорных систем ПТО.

Основным методом теоретических исследований в настоящее время является разработка математических моделей движения специальных транспортных средств на основе методов системного подхода и синтеза, которые широко применяются для лесозаготовительной техники различного назначения.

В представленной работе рассматриваются динамические системы, в которых технологическое оборудование КТМ дано в прицепном варианте, а в качестве опорной системы выбрана трехосная тележка. В первом варианте выбран пачковый клещевой захват (КЗ), размещенный на специальной арке (ПА) и обозначенный как 3ПКЗ; во втором варианте – манипулятор с клещевым захватом и зажимной коник (ПК), обозначенный в дальнейшем как 3ПКН.

Основная часть. Основные принципы построения расчетных схем и составления математических моделей движения КТМ, оснащенной различными по компоновочному решению типами ПТО, имеют допущения, аналогичные математическому аппарату, представленному в работе [11]. Они предполагают нахождение независимых, изменяющихся во времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс, входящих в системы, при рассмотрении переходных и установившихся режимов движения.

Расчетные динамические схемы определяются следующими обобщенными координатами: вертикальным, угловым и продольным перемещением центра тяжести КТМ – y_1, y_2, y_3; вертикальным перемещением центра тяжести переднего моста КТМ – y_4; вертикальным, угловым и продольным перемещением центра тяжести ПТО (ПК и ПА) – y_5, y_6, y_7; углом поворота коленчатого вала двигателя – y_8; углами поворота колес КТМ – y_9 и y_{10}; вертикальными и продольными перемещениями центра тяжести КЗ и дискретных масс пачки деревьев – y_{11}, y_{12}, y_{13}; вертикальным перемещением центра тяжести водителя и сидения – y_{14}; угловым перемещением осей балансирной тележки ПТО относительно горизонтальной плоскости – y_{15}.

Для расчетных схем и описывающих их уравнений приняты следующие параметры: $M_Д$ – момент двигателя; $I_Д$ – момент инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей сцепления; $I_{К1}$ и $I_{К2}$ – моменты инерции элементов трансмиссии и колес КТМ, приведенные к их осям; $I_Т$, $I_{ПА}$, $I_{ПК}$ и $I_{КЗ}$ – моменты инерции КТМ, ПА, ПК и КЗ соответственно; $M_Т$, $m_М$, $m_{ПА}$ и $m_{ПК}$ – масса КТМ, подрессоренная масса переднего моста КТМ, масса ПА и ПК соответственно; $m_{КЗ}$, m_2 и m_3 – дискретные массы клещевого захвата и пачки хлыстов; $m_В$ – подрессоренная масса водителя и сиденья; c_1 и k_1 – коэффициент вертикальной жесткости и сопротивления переднего моста КТМ; c_2, c_3, k_2 и k_3 – коэффи-

циенты вертикальной жесткости и сопротивления шин, установленных на колеса КТМ; c_{41}, c_{42}, k_{41} и k_{42} – коэффициенты вертикальной и горизонтальной жесткости и сопротивления сцепки КТМ с ПТО; c_{51}, c_{52}, c_{53}, k_{51}, k_{52}, и k_{53} – коэффициенты вертикальной жесткости и сопротивления шин, установленных на колесах ПТО; c_{61}, c_{62}, k_{61} и k_{62} – коэффициенты горизонтальной жесткости и сопротивления шин и почвогрунта, приведенные к точкам контакта колес КТМ с трелевочным волоком; c_7, c_8, k_7 и k_8 – коэффициенты угловой жесткости и сопротивления валов привода переднего и заднего мостов КТМ; c_{11}, k_{11} – коэффициенты вертикальной жесткости и сопротивления пачки хлыстов; c_{12}, k_{12} – коэффициенты вертикальной жесткости и сопротивления сиденья водителя; c_{13}, c_{14}, k_{13} и k_{14} – коэффициенты горизонтальной и вертикальной жесткости и сопротивления в КЗ; i_1 и i_2 – передаточные числа приводов переднего и заднего мостов КТМ; a, b и $h_{\text{Т}}$ – координаты центра тяжести КТМ; $l_{\text{В}}$ – координата центра тяжести водителя и сиденья; $l_{\text{ПА}}$ и $h_{\text{ПА}}$ – координаты центра тяжести ПА; $l_{\text{ПК}}$ и $h_{\text{ПК}}$ – координаты центра тяжести ПК; $l_{\text{СЦ}}$, $h_{\text{СЦ}}$ и h_2 – координаты точек сцепки КТМ и ПТО; $L_{\text{Х}}$ – длина пачки хлыстов; l_1 и l_2, – координаты центра тяжести пачки хлыстов; $h_{\text{КЗ}}$ – координата КЗ относительно трелевочного волока; $l_{\text{КЗ}}$ – координата центра тяжести КЗ относительно центра тяжести ПА; l_9 – расстояние от горизонтальной координаты центра балансирной тележки до центра тяжести ПТО; l_{10} и l_{11} – горизонтальное расстояние плеч балансирной тележки ПТО; l_{12} – горизонтальное расстояние от задней оси ПТО до центра тяжести ПТО; r_1 и r_2 – радиусы качения шин колес КТМ; r_3, r_4 и r_5 – радиусы качения шин колес ПТО; q_1 и q_2 – текущие значения ординат микропрофиля неровностей трелевочного волока под шинами колес КТМ; q_3, q_4 и q_5 – текущие значения ординат микропрофиля неровностей трелевочного волока под шинами колес ПТО; $P_{\text{К1}}$ и $P_{\text{К2}}$ – касательные силы тяги, развиваемые на колесах КТМ; P_{F1} и P_{F2} – силы сопротивления шин колес КТМ; P_{F3}, P_{F4} и P_{F5} – силы сопротивления шин колес ПТО; P_V – сила сопротивления волочению пачки хлыстов.

Представленные расчетные схемы динамической системы КТМ с ПТО различных компоновочных решений, разработанные с учетом ряда принятых допущений, на основе анализа ее конструкции и кинематики движения звеньев обозначаются: *а* – 3ПКЗ (схема имеет пятнадцать степеней свободы); *б* – 3ПКН (схема имеет тринадцать степеней свободы) (рис. 1).

Посредством математического аппарата, на основе системы высокоуровневого программирования MATLAB 7.11.0 (*R*2010*b*), получены матрицы численных значений отклонений степеней свободы моделей, первые производные этих отклонений и соответствующие им моменты времени протекания процесса, что позволило определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности КТМ, оснащенной различным по типу решения ПТО.

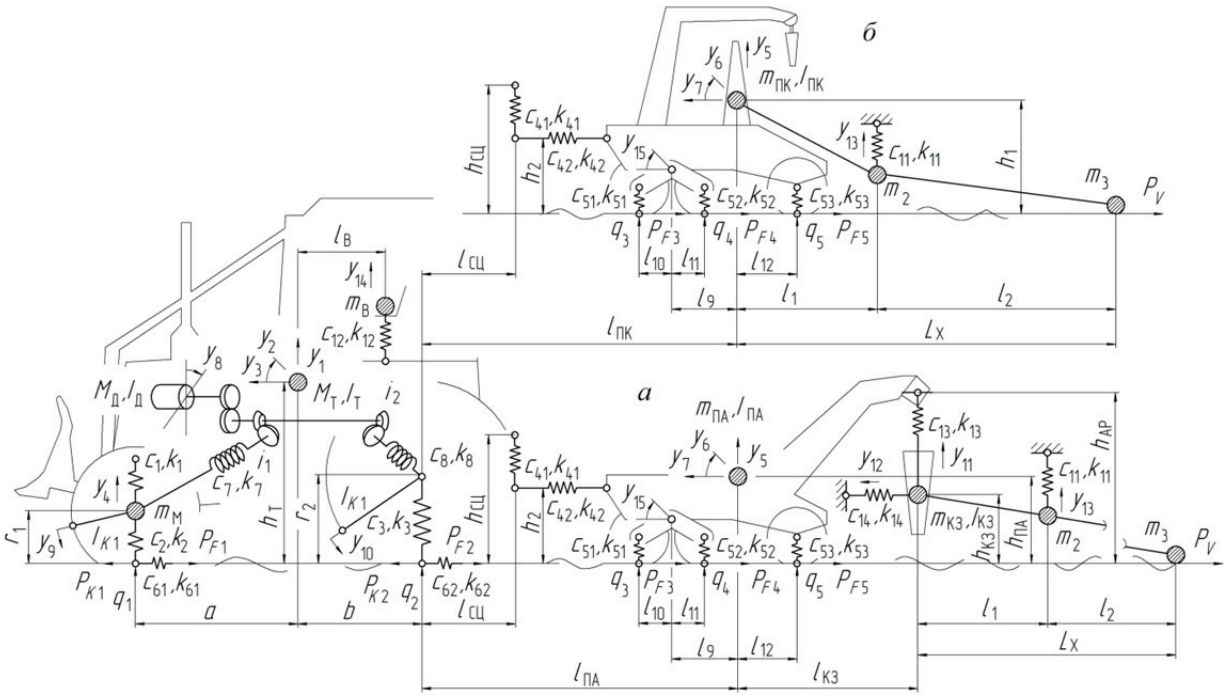


Рис. 1. Расчетные схемы динамической системы КТМ, оснащенной:
а – 3ПКЗ; *б* – 3ПКН

Так, изменения вертикальных ускорений по времени в центре тяжести ПТО определялись по следующим зависимостям:

а) для 3ПКЗ:

$$\ddot{Y}_5 = \Big[c_{41}\left(Y_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)Y_2 - Y_5 - \left(l_{\text{ПА}} - l_{\text{СЦ}}\right)Y_6\right) + k_{41}\left(\dot{Y}_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_2 - \dot{Y}_5 - \left(l_{\text{ПА}} - l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_6\right) - c_{51}(Y_5 + l_{10}Y_{15} + (l_9 + l_{10})Y_6 - Q_3) - k_{51}(\dot{Y}_5 + l_{10}\dot{Y}_{15} + (l_9 + l_{10})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_3) - c_{52}(Y_5 - l_{11}Y_{15} + (l_9 - l_{11})Y_6 - Q_4) - k_{52}(\dot{Y}_5 - l_{11}\dot{Y}_{15} + (l_9 - l_{11})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_4) - c_{53}(Y_5 - l_{12}Y_6 - Q_5) - k_{53}(\dot{Y}_5 - l_{12}\dot{Y}_6 - \dot{Q}_5) - c_{14}(Y_5 - l_{\text{КЗ}}Y_6 - Y_{11}) - k_{14}\left(\dot{Y}_5 - l_{\text{КЗ}}\dot{Y}_6 - \dot{Y}_{11}\right)\Big] / m_{\text{ПА}}.$$

б) для 3ПКН:

$$\ddot{Y}_5 = \Big[c_{41}\left(Y_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)Y_2 - Y_5 - \left(l_{\text{ПК}} - l_{\text{СЦ}}\right)Y_6\right) + k_{41}\left(\dot{Y}_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_2 - \dot{Y}_5 - \left(l_{\text{ПК}} - l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_6\right) - c_{51}(Y_5 + l_{10}Y_{15} + (l_9 + l_{10})Y_6 - Q_3) - k_{51}(\dot{Y}_5 + l_{10}\dot{Y}_{15} + (l_9 + l_{10})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_3) - c_{52}(Y_5 - l_{11}Y_{15} + (l_9 - l_{11})Y_6 - Q_4) - k_{52}(\dot{Y}_5 - l_{11}\dot{Y}_{15} + (l_9 - l_{11})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_4) - c_{53}(Y_5 - l_{12}Y_6 - Q_5) - k_{53}(\dot{Y}_5 - l_{12}\dot{Y}_6 - \dot{Q}_5) - l_2 c_{11}(l_2 Y_5 / L_{\text{X}} - Y_{13}) / L_{\text{X}} - l_2 k_{11}(l_2 \dot{Y}_5 / L_{\text{X}} - \dot{Y}_{13}) / L_{\text{X}}\Big] / m_{\text{ПК}}.$$

Изменение вертикальных ускорений центра тяжести водителя и сиденья по времени определялось по формуле

$$\ddot{Y}_{14} = [- c_{12}\left(Y_{14} - Y_1 + l_{\text{В}}Y_2\right) - k_{12}\left(\dot{Y}_{14} - \dot{Y}_1 + l_{\text{В}}\dot{Y}_2\right)] / m_{\text{В}}.$$

В уравнениях заглавные буквы степеней свободы (Y_i) означают полученные при моделировании матрицы результатов, их первые и, соответственно, вторые производные ($\dot{Y}_i$ и $\ddot{Y}_i$), обработка которых позволила построить графики нормированных спектральных плотностей ускорений центра тяжести ПТО, центра тяжести водителя и сиденья, и их изменения в зависимости от применяемого технологического оборудования.

Динамические процессы для различных типов ПТО моделировались при равных весовых, жесткостных и других параметрах систем. В частности, рассматривался процесса трелевки КТМ пачки деревьев объемом $V_{\text{ХЛ}} = 1{,}2$ м^3 и скорости перемещения КТМ $V = 4{,}57$ км/ч при одинаковых характеристиках микропрофиля магистрального волока. Результаты обрабатывались методами математической статистики.

Нормированные спектральные плотности ускорения центра тяжести различных типов ПТО при движении КТМ представлены на рис. 2.

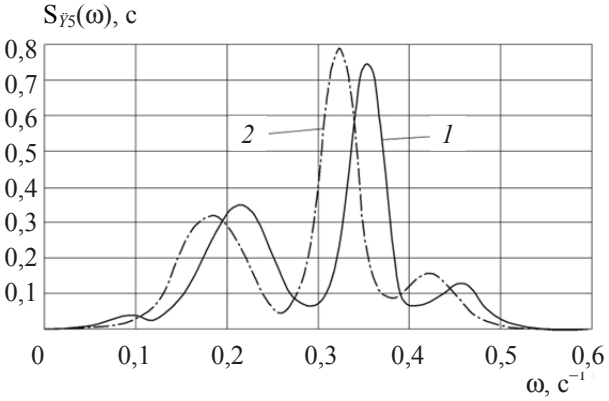


Рис. 2. Нормированные спектральные плотности вертикальных ускорений центра тяжести ПТО: *1* – 3ПКЗ; *2* – 3ПКН

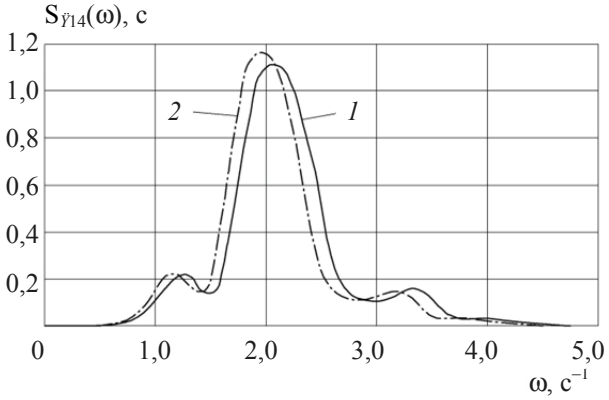


Рис. 3. Нормированные спектральные плотности вертикальных ускорений центра тяжести водителя и сидения: *1* – 3ПКЗ; *2* – 3ПКН

Для всех типов технологического оборудования максимум нормированной спектральной плотности ускорения центра тяжести ПТО проявляется дважды. Первый раз для 3ПКЗ он проявляется при частоте 0,22 с$^{-1}$ и достигает значения 0,36 с, а для 3ПКН при частоте 0,18 с$^{-1}$ имеет значение 0,32 с. Во второй раз для 3ПКЗ при частоте 3,51 с$^{-1}$ он достигает 0,74 с, для 3ПКН при частоте 3,27 с$^{-1}$ – 0,79 с.

Процесс снижения статистических величин ускорений затухает более интенсивно для 3ПКЗ.

Графики нормированных спектральных плотностей ускорения центра тяжести водителя и сиденья при движении КТМ показывают, что основные максимальные значения встречаются один раз и лежат в диапазоне частот от 2,0 с$^{-1}$ до 2,2 с$^{-1}$, при этом абсолютные величины максимумов зависят от применяемого типа техно-

логического оборудования (рис. 3). Абсолютный максимум при этом уменьшается для 3ПКЗ в 1,07 раза по сравнению с 3ПКН.

Проведенными теоретическими исследованиями были определены основные весовые и геометрические размеры ПТО путем изменения входящих в динамическую систему параметров, которые влияют на процессы движения КТМ.

Сравнение полученных результатов с выполненными ранее исследованиями позволяет сделать вывод о целесообразности применения наиболее рационального прицепного технологического оборудования при работе на почвогрунтах со слабой несущей способностью [9–11].

Заключение. Проведена теоретическая оценка динамической нагруженности основных элементов конструкции колесной трелевочной машины и технологического оборудования.

На основе анализа полученных результатов предложен наиболее рациональный вариант параметров конструкции трехосного прицепного технологического оборудования для колесной трелевочной машины, которое позволяет минимизировать показатели динамической нагруженности во время трелевки на почвогрунтах со слабой несущей способностью.

Полученные параметры прицепного технологического оборудования могут быть использованы при проектировании колесных агрегатных машин для лесозаготовки на машиностроительных предприятиях.

Список литературы

1. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: БГТУ, 2003. 438 с.

2. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Практикум. Минск: БГТУ, 2013. 199 с.

3. Протас П. А., Клоков Д. В. Аналитическое исследование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с пачкой хлыстов и волоком // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 4–5. С. 256–260. DOI: 10.12737/7110.

4. Кононов А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларуси: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Горки: БСХА, 1974. 41 с.

5. Соколова В. А., Петров И. П. Исследование взаимодействия арочного колеса с опорной поверхностью // Труды НАМИ. 1962. Вып. 54. С. 64–72.

6. Хайлис Г. А. К теории качения пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. 1963. № 3. С. 5–7.

7. Симанович В. А., Демидов В. А., Клоков Д. В. Колеса и шины лесных и лесотранспортных машин. Минск: БГТУ, 2005. 84 с.

8. Симанович В. А., Исаченков В. С. Оценка тягово-сцепных свойств трелевочных тракторов с усовершенствованной конструкцией несущей системы // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 116–119.

9. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров канатно-чокерного технологического оборудования // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 39–42.

10. Исаченков В. С., Симанович В. А. К вопросу оценки эффективности работы колесной трелевочной машины на почвогрунтах со слабой несущей способностью // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 191–196.

11. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров прицепного технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 23–27.

References

1. Vyrko N. P. *Sukhoputnyy transport lesa* [Forest land transport]. Minsk, BGTU Publ., 2003. 438 p.

2. Matveyko A. P., Klokov D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesosechnykh i lesoskladskikh rabot. Praktikum* [Technology and equipment for logging and landing works. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2013, 199 p.

3. Protas P. A., Klokov D. V. Analytical study of the interaction of wheel skidder with a bundle of stems and portage. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Recent research trends of the XXI century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 4–5, pp. 256–260. DOI: 10.12737/7110.

4. Kononov A. M. *Issledovaniye realizatsii tyagovo-stsepnykh kachestv i agrotekhnicheskoy prokhodimosti kolesnykh traktorov na suglinistykh pochvakh Belarus. Aftoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Investigation of the realization of traction-coupling qualities and agrotechnical patency of wheeled tractors on loamy soils in Belarus. Abstract of thesis dis. DSc (Engineering)]. Gorki, BSKHA Publ., 1974. 41 p.

5. Sokolova V. A., Petrov I. P. Study of the interaction of an arched wheel with a supporting surface. *Trudy NAMI* [Proceedings of NAMI], 1962, issue 54, pp. 64–72 (In Russian).

6. Haylis G. A. To the theory of the rolling of a pneumatic wheel. *Traktory i sel'khozmashiny* [Tractors and agricultural machinery], 1963, no. 3, pp. 5–7 (In Russian).

7. Simanovich V. A., Demidov V. A., Klokov D. V. *Kolesa i shiny lesnykh i lesotransportnykh mashin* [Wheels and tires forestry and transport machine]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 84 p.

8. Simanovich V. A., Isachenkov V. S. Evaluation of traction characteristics skidders with advanced design support system. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 116–119. (In Russian).

9. Isachenkov V. S., Simanovich V. A. Rope-choker trailed implements determination of parameters. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 39–42 (In Russian).

10. Isachenkov V. S., Simanovich V. A. To question of estimation of efficiency of work of the skidder on soils with weak bearing strength *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2 (222), pp. 191–196 (In Russian).

11. Isachenkov V. S., Simanovich V. A. Substantiation of the parameters of tow technology equipment wheeled skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 23–27 (In Russian).

Информация об авторах

Исаченков Владимир Сергеевич – старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.isachenkov@belstu.by.

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Симанович Василий Антонович − кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by.

Information about the authors

Isachenkov Vladimir Sergeyevich – Senior Lecture, the Department of Engineering Graphics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Ariko Sergey Yevgen'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Simanovich Vasiliy Antonovich − PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

Поступила 24.02.2021

УДК 630*377.21(252.6)

А. О. Шошин
Белорусский государственный технологический университет

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗАБОЛОЧЕННОГО ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА МОБИЛЬНЫМИ КАНАТНЫМИ ТРЕЛЕВОЧНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Предлагаются новые технологические приемы работы мобильной канатной трелевочной установки при выполнении трелевки древесины в заболоченных условиях. В результате экспериментальных исследований в зимнее и летнее время выделен полный комплекс эксплуатационных особенностей применения канатных установок в условиях заболоченных лесосек: многократные контактные взаимодействия трелюемой пачки лесоматериалов с высокими пнями, лесоматериалами на пасеке, выход грунтовых вод на поверхность лесосеки и др. Предложена технология разработки лесосек с помощью канатных установок, базирующаяся на основе технологии работы установок с неподвижным канатом. К основной технологии предложены новые приемы выполнения валки, подтрелевки и трелевки. Основной принцип разработанных приемов заключается в валке деревьев таким образом, чтобы их трелевка производилась без контакта с опорными деревьями и якорями промежуточной опоры. В зависимости от расположения пачки предлагается несколько вариантов приемов работы: перемещение пачки в обход якорей либо между якорем и опорным деревом; доворачивание комлей до совпадения с осью трелевочного коридора либо частичного подтягивания пачки в сторону, противоположную от основного направления трелевки с последующим перемещением по трелевочному коридору.

Ключевые слова: канатная установка, технология, заболоченный лесосечный фонд, приемы работы.

Для цитирования: Шошин А. О. Новые технологические решения при разработке заболоченного лесосечного фонда мобильными канатными трелевочными установками // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 224–235.

A. O. Shoshyn
Belarusian State Technological University

NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR STANDING SKYLINE IN WATERLOGGED AREAS

New technological methods of operation of a standing skyline are proposed when yarding wood in swampy conditions. As a result of experimental studies in winter and summer, a full range of operational features of the use of cable yarders in swampy logging areas was identified: multiple contact interactions of a trilled pack of timber with high stumps, timber in an apiary, groundwater discharge to the surface of a logging area, and etc. A technology for the development of cutting areas with the help of standing skyline, based on the technology of work of standing skyline, has been proposed. New methods of felling, under-drifting and yarding were proposed for the main technology. The main principle of the developed techniques is in the felling of trees in such a way that they are skidded without contact with the supporting trees and anchors of the intermediate support. Depending on the location of the pack, several options for working methods are offered: moving the pack bypassing the anchors or between the anchor and the supporting tree; turning the butts until they coincide with the axis of the skidding corridor or partially pulling the pack in the direction opposite to the main direction of skidding with subsequent movement along the skidding corridor.

Key words: standing skyline, technology, waterlogged areas, methods of work

For citation: Shoshyn A. O. New technological solutions for standing skyline in waterlogged areas. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 224–235 (In Russian).

Введение. Мобильные канатные трелевочные установки (МКТУ) широко используются в странах с горным рельефом местности: Италии, Чехии, Словакии, Швейцарии, Словении, Австрии, Турции, США и др. [1–17]. При этом известно, что в Европе стоимость заготовки 1 м^3 древесины с помощью таких систем дороже, чем наземной техникой и применение таких систем зачастую начинается в случаях, когда уклон превышает 40° [11]. В то же время кроме

экономической составляющей, значительное ограничение на выбор лесной техники оказывают законодательные акты, учитывающие экологические воздействия на лесную среду [18, 19, 20]. Применение МКТУ позволяет значительно уменьшить влияние лесозаготовок на лесные почвы по сравнению с наземным транспортом [13].

Технология работы МКТУ в зависимости от конструктивного исполнения подробно описана в источниках [3, 4, 21, 22, 23, 24, 25].

Исследованию влияния производственных факторов на производительность МКТУ посвящены работы Lindroos, Spinelli, Cavalli, Ghaffariyan, Stampfer и др [5, 7, 8, 10, 11, 14–17]. Все эти работы были основаны на опытных данных, по результатам которых формировались уравнения зависимости производительности канатных установок от учитываемых факторов: расстояние трелевки, расстояние подтрелевки, средний объем лесоматериала, среднее количество лесоматериалов в пачке, тип захватного устройства и т. д. При этом ввиду определенной разобщенности направлений выборки исследований было достаточно сложно объединить их результаты в одну общую систему. В изученной выборке работ отсутствуют труды по исследованиям производительности МКТУ в заболоченных условиях. При всем многообразии учтенных факторов в описанных моделях производительности (models productivity) авторами не учитывались сезонность работ, вид почв, лесохозяйственные ограничения, которые в первую очередь влияли на технологию лесозаготовок в каждом конкретном случае, близость водных путей (реки, озера, болота), породный состав (хрупкость древесины ольхи черной) и др.

Для заготовки древесины на заболоченных участках МКТУ применяются значительно реже и, как следствие, изучение процесса первичного транспорта на таких территориях освещено не так полно [1, 2, 26].

Одним из возможных промежуточных решений между колесным и канатным транспортом является применение двухступенчатой трелевки с использованием трелевочных тракторов с канатно-чокерной оснасткой и МКТУ [24]. Это позволит улучшить условия работы за счет подвесной или полуподвесной трелевки вдоль несущего каната, однако общая эффективность увеличится незначительно ввиду слабой проходимости лесных почв на заболоченных территориях (рис. 1).

Практика применения таких установок в Республике Беларусь в условиях заболоченных лесосек показала, что нельзя полностью без изменения переносить опыт применения МКТУ в горных условиях на равнинные заболоченные лесосеки.

С учетом вышеописанной обширной работы ряда ученых можно сказать, что уже проделана значительная работа в изучении процесса работы МКТУ, при этом технологические схемы и приемы работы, адаптированные для применения в условиях именно заболоченного лесосечного фонда, на данный момент не разработаны. Поэтому была предпринята попытка более детального изучения процесса трелевки с помощью МКТУ с последующей выработкой рекомендаций по эксплуатации.

Основная часть. Цель – разработка технологических решений, позволяющих эффективно выполнять трелевку древесины на заболоченных лесных территориях. Задачи исследования:

– определение основных особенностей, затрудняющих эффективный процесс трелевки древесины на заболоченных лесосеках;

– разработка технологии эксплуатации мобильной канатной трелевочной установки в соответствии со спецификой условий заготовки;

– разработка специальных приемов работы для уменьшения негативного влияния негативных особенностей заболоченных труднодоступных лесосек.

Объект исследования – мобильные канатные трелевочные установки на заготовке древесины в заболоченных условиях.

При заготовке древесины на заболоченных лесосеках приходится сталкиваться с серьезными природно-производственными особенностями, основными из которых являются низкая несущая способность грунтов, выход грунтовых вод на поверхность (рис. 2, *а*) и высокие пни, корневища из нескольких деревьев (рис. 2, *б*), остающиеся после валки, высота которых по данным некоторых исследований составляет до 1,5 м [6].

Исходные данные для данной работы были получены путем проведения хронометражных исследований процесса трелевки древесины МКТУ чешского производства Larix 3T-500 в зимних [2] (рис. 3, *а*) и летних (рис. 3, *б*) условиях на базе ГПУ «Березинский биосферный заповедник», ГЛХУ «Узденский лесхоз», ГЛХУ «Глубокский опытный лесхоз». Преобладающей породой на исследуемых насаждениях была ольха черная, в меньшей степени примерно в равном соотношении береза, ель, реже сосна.

Исследуемая МКТУ Larix 3T-500 является монтируемой на базе лесной модификации сельскохозяйственного трактора 1525, максимальное тяговое усилие установки – 3 т, максимальное расстояние трелевки вдоль несущего каната – 500 м, высота мачты – 6 м, допускаемое расстояние подтрелевки – 80 м. Трелевка осуществлялась хлыстами за вершины с раскряжевкой на верхнем складе. Разработка лесо-

сек велась пасеками шириной 160 м и длиной, равной ширине лесосеки. Бригада на основных лесосечных работах состояла из одного вальщика, одного чокеровщика, одного оператора лебедки, одного раскряжевщика. На подвозке к промежуточному складу применялись прицепные тележки либо форвардеры.

На основе анализа данных, полученных в результате выполнения хронометражных исследований, был выделен дополненный ряд характерных особенностей, сопутствующих заготовке древесины с использованием МКТУ в заболоченных условиях:

1) контакт перемещаемой пачки и деревьев промежуточных опор при подтрелевке;

2) зажим пачкой пня;

3) сопротивление перемещаемой пачке от встречаемых пней;

4) значительная доля затопленной водой площади лесосеки;

5) увеличенное количество лесосечных отходов за счет хрупкости древесины ольхи черной;

6) сложность осуществления точной валки порослевых пород (ольха, береза) по причине множественных корневищ, состоящих из нескольких стволов (2–5);

7) необходимость ритмичной совместной работы канатной установки и транспорта на подвозке.

Рис. 1. Низкая несущая способность лесных почвогрунтов при выполнении подвозки лесоматериалов

а *б*

Рис. 2. Природно-производственные особенности заболоченного лесфонда Беларуси в зимних (*а*) и летних (*б*) условиях

а *б*

Рис. 3. Применение мобильной канатной трелевочной установки в зимних (*а*) и летних (*б*) условиях

Первая особенность является технологической и вызвана тем, что при переходе от подтрелевки к трелевке пачка хлыстов не успевает довернуться и начинает выламывать опорное дерево и другие растущие по траектории движения деревья (например, при выполнении несплошной рубки, оставлении семенных деревьев и др.) (рис. 4, *а*).

Вторая особенность в большей степени является лесорастительным фактором и проявляется не ввиду неквалифицированной работы персонала с бензиномоторной пилой, а по причине невозможности безопасной и эффективной валки в порослевых насаждениях, так как комлевая часть таких деревьев представляет собой (рис. 4, *б*) конусовидное образование с высоким земляным холмом либо пень, сидящий на корнях и корневых наплывах (корневые наплывы на рисунке не показаны).

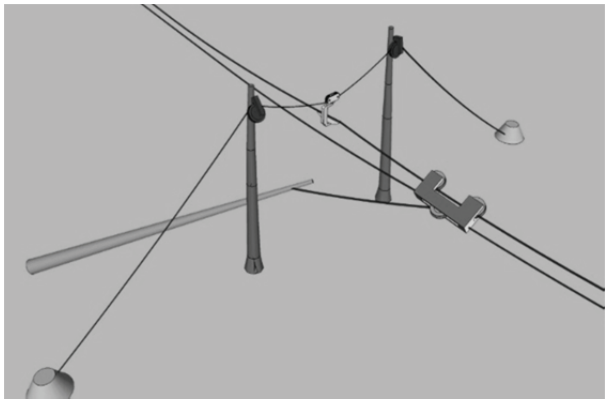
Третья особенность также возникает по причине вышеописанной особенности строения пней на заболоченных лесосеках. Лобовое сопротивление трелевке в виде пней (рис. 4, *в*) является классическим проблемным местом для заболоченных лесосек. Нередки случаи разрыва тягового каната при попытке преодоления пачкой такого препятствия.

Значительная доля площади с выходом воды на поверхность не позволяет использовать как колесную, так и гусеничную технику, а также с комбинированным типом движителя (четвертая особенность).

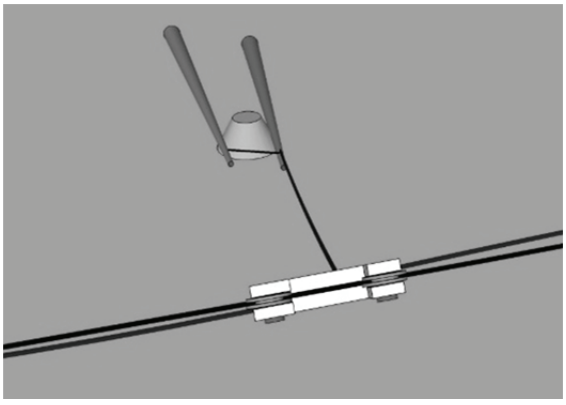
При проведении хронометражных исследований было отмечено, что при повале деревьев и их обработке бензиномоторной пилой образуется больше отходов, что вызвано хрупкостью древесины ольхи черной, которая составляет около половины и более доли запаса заболоченных насаждений (пятая особенность).

Наличие пней, сидящих на корневых лапах, и корневища, состоящие из нескольких (2–5) стволов (рис. 2, *б*), создает сложную ситуацию для безопасной и эффективной работы вальщика (шестая особенность).

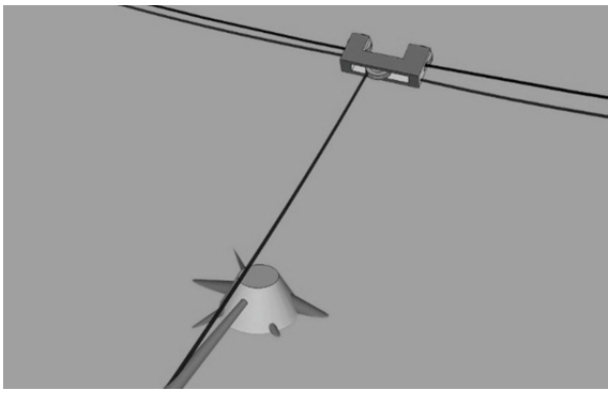
При отсутствии четкой взаимосвязи между МКТУ на трелевке и форвардером на подвозке на верхнем складе скапливается значительный объем древесины, достигающий иногда более 100 м^3, что снижает эффективность операций расчокеровки и раскряжевки и увеличивает травмоопасность на этих операциях (седьмая особенность).



а



б



в

г

Рис. 4. Сложные ситуации во время трелевки МКТУ:
а – контакт пачки и деревьев промежуточных опор; *б* – зажим пачкой пня;
в – упор лесоматериала в пень; *г* – переполненный штабель на верхнем складе

В результате изучения опыта технологии разработки лесосек канатными установками Чехии, Словакии, Украины, США, Норвегии и др. [3, 4, 9, 10, 12, 13, 21–26] не было выявлено специализированных технологических схем и рекомендаций для устранения вышеописанных особенностей. На данный момент достаточно трудоемкой задачей выглядит оценка степени влияния указанных сложных ситуаций на производительность МКТУ, однако совершенно точно очевиден значительный негативный эффект данных особенностей на безопасность работы персонала, надежность конструкции установок и эффективность выполнения лесозаготовительных работ в целом данной техникой.

Вышеописанные семь особенностей являются осложняющими заготовительный процесс при использовании МКТУ в заболоченных условиях. Для уменьшения их негативного воздействия предложены следующие решения:

1) уменьшение негативного влияния контакта перемещаемой пачки и деревьев промежуточных опор устраняется путем применения разработанных схем и приемов работы, которые описаны ниже;

2) для уменьшения количества зажимов пачкой пней следует вести точную валку с укладкой необходимого количества деревьев и минимальным разбросом по вершинам в перпендикулярном направлении к трелевочному коридору. Также в ситуациях, приближенных к зажиму вокруг пня, нужно работать последовательно и подтрелевывать хлысты по отдельности к несущему канату;

3) для минимизации негативного эффекта лобовых контактов пачки с пнями подтрелевка должна осуществляться кратковременными рывками (1–2 с) на минимальной скорости с использованием схем чокеровки и подтрелевки. Существуют общепринятые способы, приведенные в работе Самсета (рис. 5) [22]. Для этого чокеровка производится специальными способами (рис. 5, *а–г*), чтобы перенаправить силы для преодоления препятствий;

4) выход грунтовых вод на поверхность лесосеки является такой особенностью, которую нельзя решить простыми методам и средствами;

5) уменьшение объема лесосечных отходов, образующихся от падения ольховых деревьев, можно достичь при направлении падения дерева на «подушку» из веток и сучьев;

6) при выполнении валки деревьев, включающих несколько корневищ, необходимо в первую очередь руководствоваться правилами техники безопасности и производить повал путем направления падения дерева стволов в сторону, перпендикулярно от плоскости, образуемой скоплением стволов.

Однако использование этих приемов является крайней мерой, так как предусматривает нагружение канатов в большей степени, чем при выполнении стандартных операций;

7) при планировании организации работы на лесосеке необходимо, чтобы производительность техники на подвозке (вывозке) была сопоставима или кратна производительности МКТУ; подвозка (трелевка) древесины должна осуществляться ритмично, чтобы на верхнем складе не скапливались высокие штабели.

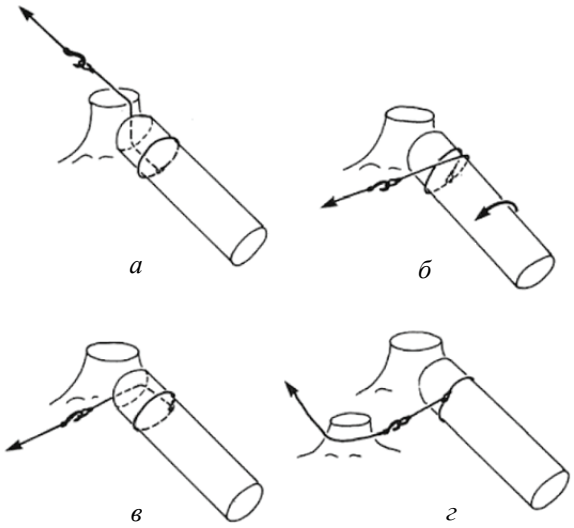


Рис. 5. Приемы работы при прохождении пня:
а – поднятие лесоматериала перед пнем;
б, *в* – скольжение по бревну в сторону;
г – перенаправление движения
с помощью другого пня

Предложенные решения стали основой для разработки технологии освоения лесосек с помощью МКТУ в условиях заболоченного лесфонда.

Технология освоения лесосеки. Основные лесосечные работы начинаются только после проведения подготовительных работ, которые включают [4, 22, 23, 25]:

– отметки границ пасек, трелевочных коридоров, полупасек, верхних складов и др.;

– строительство (укрепление) существующей дорожной сети;

– устройство площадки для установки на верхнем складе;

– формирование трелевочного коридора;

– прокладку рабочих канатов;

– устройство промежуточных опор;

– устройство тыловой опоры;

– установку каретки на несущий канат;

– пробный пуск установки на холостых оборотах.

Важно отметить, что предлагаемая технология в первую очередь направлена на применение в равнинных заболоченных лесосеках на сплошных рубках. Канатные установки могут применяться и на несплошных рубках, но в таком случае их производительность меньше. Также эффективное использование канатных установок не будет обеспечено без хорошо развитой дорожной сети [4].

При разработке технологических схем освоения лесосек с использованием мобильных канатных трелевочных установок учитывалось, что одна из наиболее распространенных конструкций МКТУ в мире – это система с неподвижным несущим канатом (standing skyline) [4], и разработанные схемы учитывают в полной мере именно эту систему. Разработанная технология может применяться как для установок с неподвижным канатом на базе трактора (Larix 3T, Ritter KSK-1, Koller K300T и др.), так и на базе автомобиля (Koller K602 GH и др.).

Канатные трелевочные системы, работающие без промежуточных опор с использованием грейферного захвата (live skyline), с поворотной мачтой (running skyline), не приспособлены для работы по нижеописанной технологии.

При выборе схемы разработки лесосеки приоритет был отдан параллельной перед треугольной. Это вызвано рядом причин, в первую очередь возможностью создания нескольких погрузочных пунктов, что делает трелевку независимой от вывозки; меньшее количество перестановок и вследствие этого меньшие трудозатраты на монтажно-демонтажные работы; полное использование площади пасек без перекрытий по сравнению с другими пасеками (треугольная схема).

В настоящее время для установок преимущественно применяется параллельная схема с подтрелевкой лесоматериалов к несущему канату. Технология работы установок системы standing skyline позволяет добиться значительных размеров пасеки (до 160 м).

Разработка лесосеки (делянки) ведется последовательно, начиная с левого (правого) края при выполнении сплошных рубок главного пользования; полосами при выполнении полосно-постепенных несплошных рубок главного пользования. Схема разработки лесосеки представлена на рис. 6. Разработанная технология освоения лесосек с помощью МКТУ может быть применима для любой установки, имеющей несущий, тяговый, возвратный канаты, а для ряда конструкций грузоподъемный и вспомогательный.

Заготовка древесины канатной трелевочной установкой *22* может вестись с трелевкой деревьев, хлыстов или сортиментов, наиболее предпочтительной является с трелевкой хлыстов. Ширина пасеки назначается с учетом конструктивных особенностей установки и средней высоты дерева. Рекомендуется вести трелевку хлыстами *17* с раскряжевкой их на верхнем складе. В таком случае ширина пасеки *2* в зависимости от конструкции установки может составлять 80–160 м, ширина коридора *8* должна быть в пределах 5–7 м. Трелевка хлыстов должна вестись преимущественно за вершины, допускается трелевка хлыстов за комли в непосредственной близости от несущего каната (до 10 м), а также в случаях, когда другого способа нет. При выполнении трелевки сортиментами рекомендуется уменьшать ширину пасеки в два-три раза по сравнению с данным параметром для заготовки хлыстов – 30–60 м. Каждая пасека, разрабатываемая с помощью МКТУ, примыкает непосредственно к лесохозяйственной дороге *1* и отделяется от соседних древостоев или других пасек условной границей *2*. Верхний склад отделен от основной площади пасеки условной границей *4*. Зона верхнего склада разрабатывается в первую очередь, после чего производится заготовка древесины на основной площади пасеки. Отличием от существующей структуры пасеки с двумя полупасеками и волоком является наличие двух дополнительных полупасек *5* и основных полупасек *6* по обе стороны от оси трелевочного коридора *8*, по линии которой происходит перемещение трелевочной каретки *18*. В зависимости от конструкции установки, лесохозяйственных требований к разработке данной лесосеки соотношение размеров основной и дополнительной полупасек может быть различным. Основной полупасекой предлагается считать ту полосу леса вдоль оси трелевочного коридора, валка деревьев на которой под углом 90°(или близким к нему) по отношению к оси трелевочного коридора невозможна. Валка деревьев на основной полупасеке по возможности должна производиться под острым углом к оси трелевочного коридора в сторону верхнего склада. Валка деревьев, растущих на дополнительных полупасеках, может свободно вестись перпендикулярно оси трелевочного коридора. Ширина пасеки принимается равной двойной величине максимального расстояния подтрелевки для МКТУ по паспорту установки. Ширина основной полупасеки принимается равной величине средней высоты дерева на лесосеке (20–25 м), ширина дополнительной полупасеки определяется путем нахождения разности между половиной ширины пасеки и шириной основной полупасеки (либо разности максимального расстояния подтрелевки установки и ширины

основной полупасеки). Ширину трелевочного коридора не включаем в ширину полупасеки. Например, при ширине пасеки, равной 100 м, ширине коридора 5 м, средней высоте дерева 20 м половина ширины пасеки будет равна 47,5 м, а значения ширины основной и дополнительной полупасек составят 20 и 27,5 м соответственно.

Процесс разработки происходит следующим образом. Вальщик выполняет направленную валку деревьев в соответствии с тем, на каком удалении от несущего каната он находится (это будет пояснено ниже). В общем случае валка выполняется в направлении, перпендикулярном несущему канату или под углом к нему. Тяговый канат вручную подтягивается чокеровщиком к поваленным деревьям, где производится формирование пачки *17* путем последовательной зацепки хлыстов в количестве, равном рейсовой нагрузке. После сигнала оператору установки о начале рейса через рацию производится сначала на небольшой скорости (0–0,5 м/с) подтрелевка пачки к несущему канату. После подтрелевки пачки к несущему канату она доворачивается в сторону верхнего склада, и далее выполняется трелевка на рабочей паспортной скорости. Каретка *18* перемещается по несущему канату *15* с помощью тягового каната (на рисунке не показан). После достижения пачкой верхнего склада производится разгрузка пачки в непосредственной близости от сформированного штабеля *19*. После чего производится раскряжевка на сортименты. Заготовленные сортименты с уже разработанных и еще разрабатываемых пасек собираются с помощью погрузочно-транспортных машин и форвардеров *3*. Каретка после освобождения ее от груза порожним ходом возвращается к месту, непосредственно прилегающему к разрабатываемой части пасеки. Возврат каретки осуществляется за счет приведения в действие возвратного каната *14* и расслабления тягового (в отдельных случаях еще подъемного и вспомогательного канатов). При разработке лесосек длиной более 100 м необходимо производить устройство промежуточных опор *13*. Они включают в себя два здоровых дерева достаточной толщины на уровне груди (более 30 см), находящиеся по обе стороны от оси трелевочного коридора, между которыми натянут поперечный канат (в плане пересекается с несущим под прямым углом). Поперечный канат удерживает направляющую для несущего каната – опорный башмак. В первую очередь разрабатываются участки, смежные слева и справа с верхним складом и дорогой, и прилегающие к ним дополнительные полупасеки. Валка преимущественно ведется вершинами в направлении штабеля.

После этого продолжают разрабатывать пасеку вглубь леса участками длиной 40–50 м (двойная высота дерева). В первую очередь разрабатывают полосы основных полупасек, прилегающие к трелевочному коридору с двух сторон, далее дополнительные полупасеки, прилегающие к ним слева и справа. Таким образом продвигаются до промежуточных опор. Описанным способом разрабатывается большая часть площади лесосеки, кроме части зоны пасеки за каждой промежуточной опорой (если смотреть со стороны верхнего склада). Далее будет описано, как разрабатываются эти участки.

Общий принцип направления валки на лесосеке следующий: деревья, растущие в зоне до 10 м в сторону от трелевочного коридора, приземляются параллельно ему; валка деревьев в зоне от 10 до 30 м (граница основной полупасеки) осуществляется под углом 30–60° к оси; деревья, растущие на расстоянии более 30 м от оси, приземляют под углом 90° к оси.

При трелевке деревьями их валка должна осуществляться комлями в сторону несущего каната преимущественно под углом 90° с последующим перемещением их за комли полуподвесным способом.

Ширина пасеки при трелевке деревьев и сортиментов должна назначаться меньше, чем при трелевке хлыстов, ориентировочно, в два раза (равна максимальному расстоянию подтрелевки). Это вызвано требованиями безопасности ввиду большого количества лобовых сопротивлений. Трелевка деревьев вверх (вниз) по склону должна осуществляться только за комли.

Для разработки участков, непосредственно прилегающих к деревьям промежуточных опор, предлагаются новые приемы работы (рис. 7).

Данные приемы позволяют исключить неэффективные и трудозатратные особенности подтрелевки хлыстов, которые наблюдаются в практике применения МКТУ на данный момент при вытягивании лесоматериалов вблизи промежуточных опор. Разработка зоны за промежуточной опорой представляет собой один из самых ответственных этапов при разработке конкретной пасеки, так как при несоблюдении приемов работы на данном участке резко возрастает травмоопасность и опасность поломки деревьев промежуточных опор. Это может быть вызвано трением пачки о дерево, врезанием пачки в дерево и т. д.

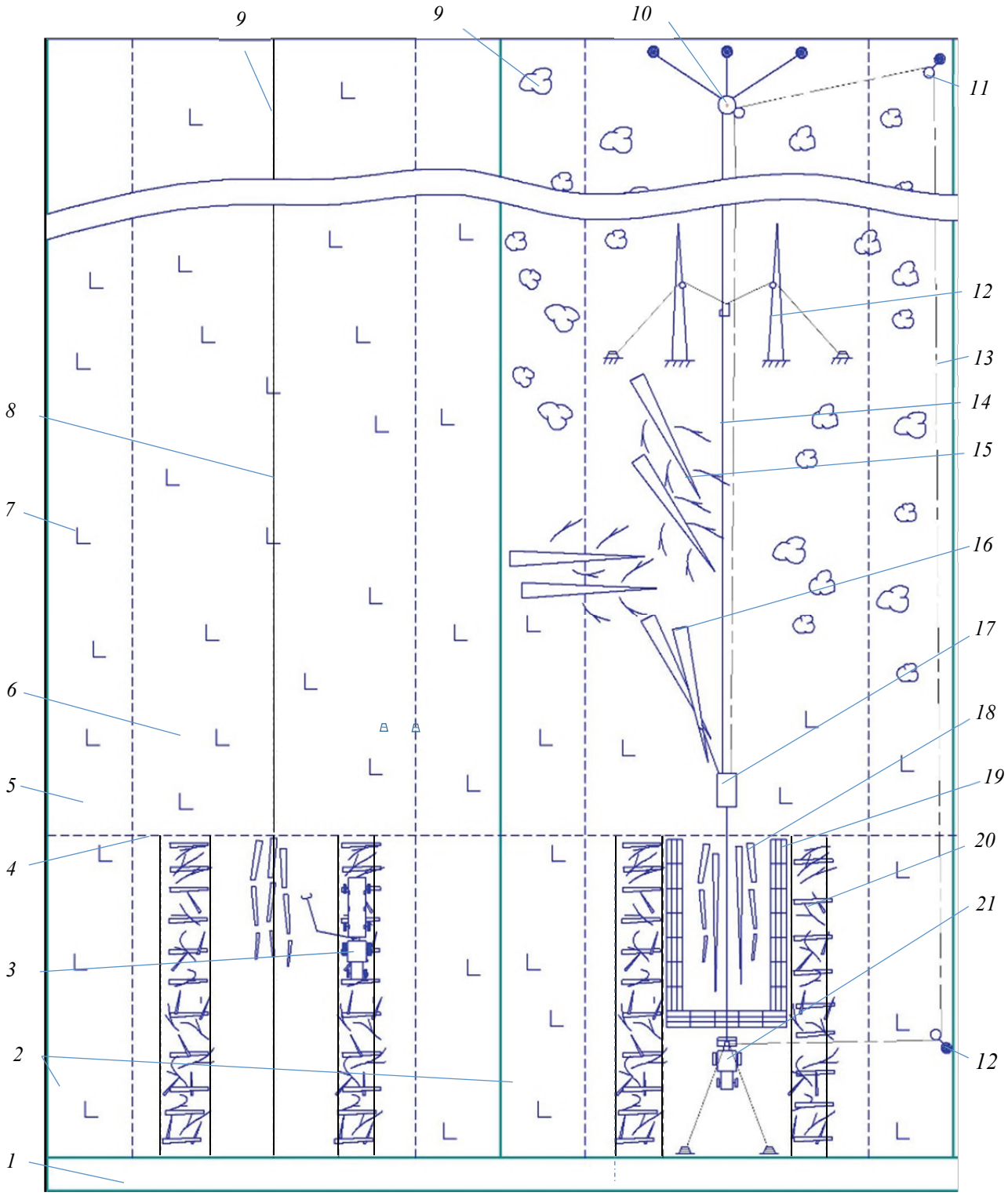


Рис. 6. Схема разработки лесосеки:
1 – лесохозяйственная дорога; *2* – граница пасеки;
3 – погрузочно-транспортная машина; *4* – граница верхнего склада;
5 – дополнительная полупасека; *6* – основная полупасека;
7 – пень; *8* – ось трелевочного коридора; *9* – растущее дерево;
10 – тыловая опора с растяжками; *11* – обводные блоки возвратного каната;
12 – промежуточная опора; *13* – возвратный канат;
14 – несущий канат; *15* – сформированная пачка;
16 – трелюемая пачка; *17* – каретка; *18* – штабель; *19* – настил из досок;
20 – укрепленный подъездной путь; *21* – канатная установка с растяжками

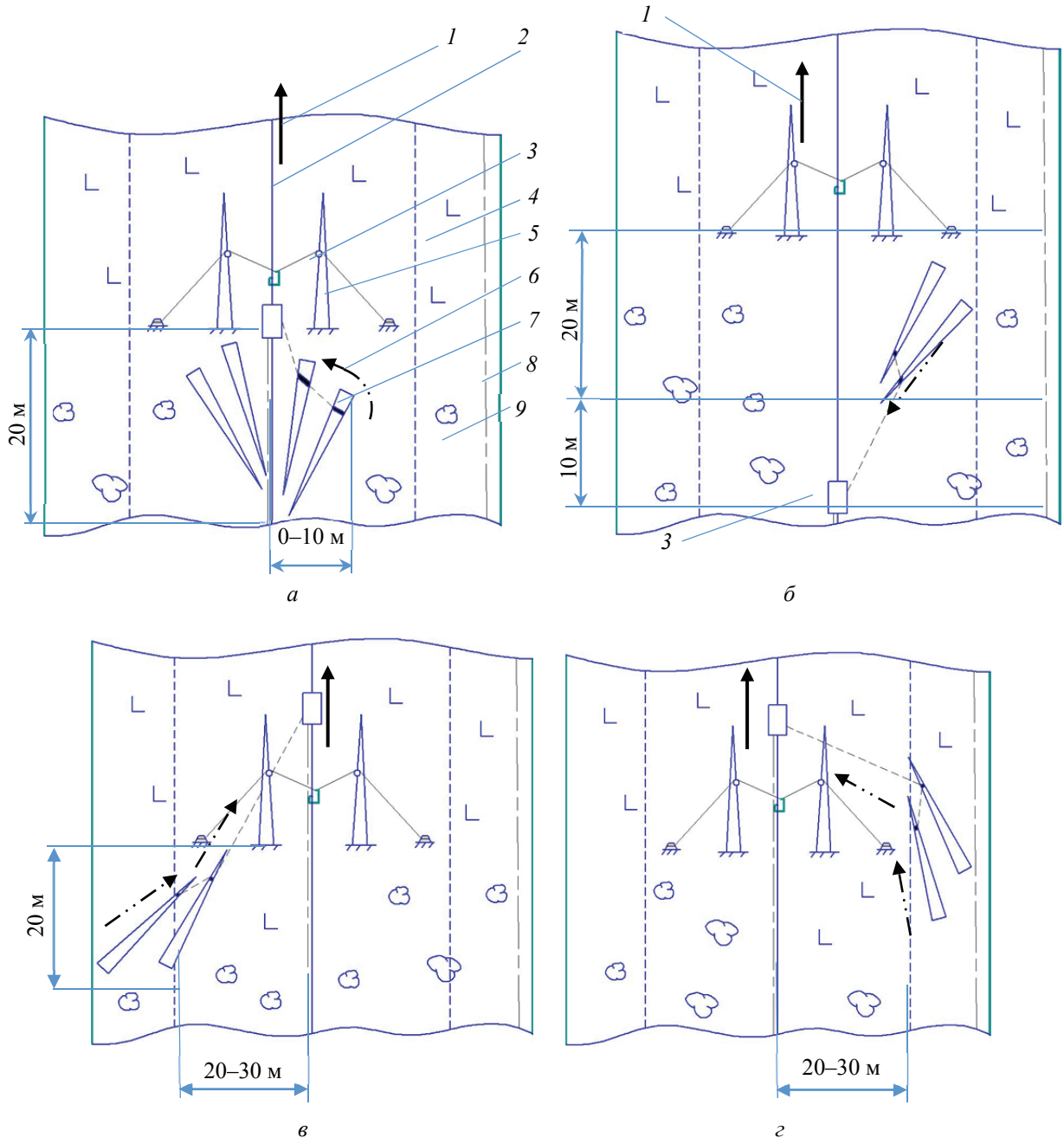


Рис. 7. Схема разработки участка за промежуточными опорами:
а – зона 0–10 м от несущего каната;
б – участок длиной до 20 м после промежуточной опоры;
в – вершинная часть ствола после валки находится
на основной полупасеке между якорем и деревом промежуточной опоры;
г – пачка хлыстов с дополнительной полупасеки подтягивается под углом к каретке,
минуя якорь и деревья промежуточной опоры;
1 – направление трелевки; *2* – несущий канат; *3* – каретка;
4 – якорь промежуточной опоры; *5* – тягово-грузоподъемный канат;
6 – направление разворота пачки; *7* – зачокерованная пачка;
8 – возвратный канат; *9* – дополнительная полупасека

Схема *а* (рис. 7) применима в случаях трелевки хлыстов, зачокерованных в непосредственной близости от несущего каната (деревья, растущие в зоне 0–10 м от несущего каната), когда валка вершинами в сторону верхнего склада приведет к его падению на деревья промежуточной опоры, поперечный или несущий канат. Валка выполняется в противоположную от верхнего склада сторону. Хлысты в пачке чокеруются за комель, при подъеме частично

разворачиваются относительно вершин до положения, параллельного трелевочному коридору, и перемещаются к верхнему складу.

Схема *б* (рис. 7) будет эффективной в случаях, когда трелюются хлысты из основной полупасеки на участке длиной до 20 м после промежуточной опоры. Валка выполняется вершиной в сторону, обратную от верхнего склада, таким образом, чтобы на первом этапе подтрелевать пачку к каретке и при трелевке к верхнему складу пачка успевала бы довернуться до положения, параллельного относительно оси несущего каната.

Деревья, расположенные на дополнительных полупасеках возле промежуточных опор, рекомендуется разрабатывать по схемам *в* и *г* (рис. 7). Отличие между схемами заключается в том, что схема *в* (рис. 7) применяется в случаях, когда вершинная часть ствола после валки находится на основной полупасеке между якорем и деревом промежуточной опоры, а схема *г* (рис. 8) в случае, если 1/3–1/2 ствола окажется за якорем промежуточной опоры.

При применении схемы *в* деревья перемещаются в пространстве между якорем и деревом промежуточной опоры. Для применения данной схемы не требуется высокая точность валки, так как направление подтрелевки может быть скорректировано перемещением каретки по несущему канату за промежуточной опорой.

В случае применения схемы *г* контакт пачек и промежуточной опоры полностью исключен. Пачка хлыстов с дополнительной полупасеки подтягивается под углом к каретке, минуя якорь и деревья промежуточной опоры.

Очевидно, что строгого алгоритма выполнения предложенных специальных приемов нет и не может быть. Данные приемы должны применяться в соответствии с каждой конкретной ситуацией на лесосеке, в рамках техники безопасности, при отсутствии противоречий со стороны особенностей конструкции и эксплуатации установки. Немаловажную роль будет играть опыт работы персонала.

Выводы. Укрупненно рекомендации по освоению заболоченных лесосек с помощью МКТУ включают:

1) осуществление двухэтапной трелевки: на первом этапе трелевка хлыстов к верхнему складу, на втором – подвозка сортиментов на промежуточный склад;

2) осуществление трелевки хлыстов преимущественно за вершины;

3) применение разработанных приемов и технологии заготовки древесины на лесосеке;

4) последовательная чокеровка при подтрелевке и прохождении хлыстами пней;

5) подсыпка местного грунта при укреплении подъездных путей;

6) формирование плотного штабеля на верхнем складе высотой не более 0,7 м, раскряжевка хлыстов на верхнем складе;

7) приоритет разработки лесосеки с одной технологической стоянки;

8) подготовка рабочего места для раскряжевщика:

– укладка настилов из отходов лесопиления;

– применение щитовых настилов;

9) при выходе грунтовых вод на поверхность волока, когда пачка полностью или частично перемещается в воде, допускается увеличение объема пачки на 20%.

Список литературы

1. Веселы П. Канатные дороги Ларикс на болотах // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БГТУ, 2017. С. 50–54.

2. Шошин А. О., Протас П. А., Мохов С. П., Гречко В. В. Исследование процесса трелевки хлыстов на заболоченных лесосеках канатными установками в зимний период // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БГТУ, 2017. С. 72–76.

3. Štollmann V., Ilčík Š., Nikitin J. R. Rekuperačné lanové zariadenia. Vysokoškolská učebnica, Technická univerzita vo Zvolene, 2017. 171 p. (in Slovak).

4. Mike Lulay, Jeff Wimer. Yarding and loading: handbook. Osha, 2010. 164 c.

5. Lindroos O., Cavalli R. Cable yarding productivity models: a systematic review over the period 2000–2011 // International journal of forest engineering. 2016. Vol. 27, no 2. P. 79–94.

6. Spinelli R., Magagnotti N., Lombardini C. Performance, capability and costs of small-scale cable yarding technology. Small-Scale For. 2010. 9. P. 123–135.

7. Stampfer K., Visser R, Kanzian C. Cable corridor installation times for European yarders. 2006. P. 71–77.

8. Largo S., Han H. S., Johnson L. Productivity and cost evaluation for on-guyline yarders in Northern Idaho. COFE (Council on Forest Engineering) conference “Machine and people, the interface”. 2004. P. 27–30.

9. Eker M., Acar H, Karaman A, Caglar S. In: Arzberger U., Grimoldi M. Gantner skyline for timber extraction in Turkish forestry. New trends in wood harvesting with cable systems for sustainable forest management in the mountains. Ossiach, Austria. Rome: FAO/ECE/ILO and IUFRO, 2003. P. 121–128.

10. Devlin G., Klvač R. How technology can improve the efficiency of excavator-based cable harvesting for potential biomass extraction – a woody productivity resource and cost analysis for Ireland // Energies. 2014. 7. P. 8374–8395.

11. Spinelli R., Magagnotti N., Visser R. Productivity Models for Cable Yarding in Alpine Forests // European Journal of Forest Engineering. 2015. 1 (1). P. 9–14.

12. Enache A., Martin Kühmaier M., Visser R., Stampfer K. Forestry operations in the European mountains: a study of current practices and efficiency gaps // Scandinavian Journal of Forest Research. 2016. P. 412–427.

13. Miller J. H., Sirois D. L. Soil Disturbance by Skyline Yarding vs. Skidding in a Loamy Hill Forest // Soil Science Society of America Journal. 1986. Vol. 50, no. 6. P. 1579–1583.

14. Zimbalatti G., Proto A.R. Timber extraction with a cable crane in South Italy (Calabria) // FORMEC 2010. Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment. July 11–14, 2010, Padova–Italy. P. 7.

15. Hoffmann S., Jaeger D., Schoenherr S., Lingenfelder M., Dongjing Sun, Ji Zeng. The effect of forest management systems on productivity and costs of cable yarding operations in southern China // Forestry Letters. 2016. No 109. P. 11–24.

16. Hartley D. Effects of alternative silvicultural treatments on cable harvesting productivity and cost in Western Washington // Western Journal of Applied Forestry. 2007. Vol. 22, No. 3. P. 204–212.

17. Ghaffariyan M. R., Stampfer K., Sessions J. Production equations for tower yarders in Austria // International Journal of Forest Engineering. 2009. Vol. 20, no. 1. P. 17–21.

18. Правила рубок леса в Республике Беларусь: утв. Постановлением Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь от 19.12.2016 № 68. URL: https://statut.by/novosti/1298-31-12-2016-2. Дата обращения: 11.06.2021.

19. Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Машины для рубок леса. Общие технические требования: СТБ 1342-2002. Введ. 01.01.2003. URL: https://gost-snip.su/document/stb_1342_2002_ustoychivoe lesoupravlenie i lesopolzovanie mashini dlya. Дата обращения: 11.06.2021.

20. Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям. СТБ 1360-2002. Введ. 01.07.2003. URL: https://tnpa.by/#!/DocumentCard/142215/162656. Дата обращения: 11.06.2021.

21. Přemysl Horek. Lesní lanovky. Praha, Czech Republic. 2007. 104 s. (In Czech).

22. Samset I. Winch and Cable Systems. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1985. 539 p.

23. Белая Н. М. Канатные лесотранспортные установки // Лесная промышленность. 1967. С. 299.

24. Бондаренко А. В. Совершенствование технологического процесса первичной транспортировки древесины в горных условиях лесозаготовок: автореф. … канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 2015. 16 с.

25. Logging and transport in steep terrain // Report of the Fourth FAO/AUSTRIA Training course on mountain forest roads and harvesting. Rome FAO, 1985. 345 p.

26. Ходосовский М. В. Исследование проходимости хлыстов при полуподвесной трелевке лебедками: дис. … канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 1968. 276 с.

References

1. Vesely P. Larix cableway in the swamp. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging industry: problems and solutions: materials of International scientific-technical conference]. Minsk, 2017, pp. 50–54 (In Russian).

2. Shoshyn A. O., Protas P. A., Mokhov S. P., Grechko V. V. Study of the cable crane tree-skidding process on swampy logging sites in the winter season. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging industry: problems and solutions: materials of International scientific-technical conference]. Minsk. 2017, pp. 72–76 (In Russian).

3. Štollmann V., Ilčík Š., Nikitin J. R. Rekuperačné lanové zariadenia. Vysokoškolská učebnica, Technická univerzita vo Zvolene, 2017. 171 p. (In Slovak).

4. Mike Lulay, Jeff Wimer. Yarding and loading: handbook. Osha, 2010. 164 c.

5. Lindroos O., Cavalli R. Cable yarding productivity models: a systematic review over the period 2000-2011. *International journal of forest engineering*, 2016, vol. 27, no. 2, pp. 79–94.

6. Spinelli R., Magagnotti N., Lombardini C. Performance, capability and costs of small-scale cable yarding technology. Small-Scale For. 2010, 9, pp. 123–135.

7. Stampfer K., Visser R, Kanzian C. Cable corridor installation times for European yarders, 2006, pp. 71–77.

8. Largo S., Han H. S., Johnson L. Productivity and cost evaluation for on-guyline yarders in Northern Idaho. COFE (Council on Forest Engineering) conference "Machine and people, the interface", 2004, pp. 27–30.

9. Eker M., Acar H, Karaman A., Caglar S. In: Arzberger U., Grimoldi M. Gantner skyline for timber extraction in Turkish forestry. New trends in wood harvesting with cable systems for sustainable forest management in the mountains. Ossiach, Austria, Rome, FAO/ECE/ILO and IUFRO, 2003, pp. 121–128.

10. Devlin G., Klvač R. How technology can improve the efficiency of excavator-based cable harvesting for potential biomass extraction – a woody productivity resource and cost analysis for Ireland. *Energies*, 2014, no. 7, pp. 8374–8395.

11. Spinelli R., Magagnotti N., Visser R. Productivity Models for Cable Yarding in Alpine Forests. *European Journal of Forest Engineering*, 2015, 1 (1), pp. 9–14.

12. Enache A., Martin Kühmaier M., Visser R., Stampfer K. Forestry operations in the European mountains: a study of current practices and efficiency gaps. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2016, pp. 412–427.

13. Miller J. H., Sirois D. L. Soil Disturbance by Skyline Yarding vs. Skidding in a Loamy Hill Forest // *Soil Science Society of America Journal*, 1986, vol. 50, no. 6, pp. 1579–1583.

14. Zimbalatti G., Proto A.R. Timber extraction with a cable crane in South Italy (Calabria). *FORMEC 2010. Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment. July 11–14, 2010*. Padova, Italy, 2010. 7 p.

15. Hoffmann S., Jaeger D., Schoenherr S., Lingenfelder M., Dongjing Sun, Ji Zeng. The effect of forest management systems on productivity and costs of cable yarding operations in southern China. *Forestry Letters*, 2016, no. 109, pp. 11–24.

16. Hartley D. Effects of alternative silvicultural treatments on cable harvesting productivity and cost in Western Washington. *Western Journal of Applied Forestry*, 2007, vol. 22, no. 3, pp. 204–212.

17. Ghaffariyan M. R., Stampfer K., Sessions J. Production equations for tower yarders in Austria. *International Journal of Forest Engineering*, 2009, vol. 20, no. 1, pp. 17–21.

18. *Pravila rubok lesa v Respublike Belarus'*: *utv. Postanovleniem Ministerstva lesnogo khozyastva Respubliki Belarus'* [Forest felling rules in the Republic of Belarus, approved by the Resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus dated December 19, 2016, no. 68]. Available at: https://statut.by/novosti/ 1298-31-12-2016-2 (accessed 11.06.2021).

19. STB 1342-2002. *Ustoychivoye lesoupravleniye i lesopol'zovaniye. Mashiny dlya rubok lesa. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya* [Sustainable forest management and forest management. Forestry machines. General technical requirements]. Available at: https://gost-snip.su/document/ stb_1342 _2002_ustoychivoe_lesoupravlenie_i_lesopolzovanie_mashini_dlya. (accessed 11.06.2021).

20. STB 1360-2002. *Ustoychivoye lesoupravleniye i lesopol'zovaniye. Rubki glavnogo pol'zovaniya. Trebovaniya k tekhnologiyam* [Sustainable forest management and forest management. Final felling. Technology requirements]. Available at: https://tnpa.by/#!/DocumentCard /142215/ 162656 (accessed 11.06.2021).

21. Přemysl Horek. Lesní lanovky. Praha, Czech Republic, 2007. 104 s. (In Czech).

22. Samset I. Winch and Cable Systems. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1985. 539 p.

23. Belaya N. M. Cable yarding systems. Moscow, Lesnaya promyshlennost', 1967. 299 p.

24. Bondarenko A. V. *Sovershenstvovaniye tekhnologicheskogo protsessa pervichnoy transportirovki drevesiny v gornykh usloviyakh lesozagotovok* [Improvement of the technological process of the primary transportation of wood in the mountainous conditions of logging. Abstract of thesis cand. of tekhn. sci.]. Voronezh, 2015. 16 p.

25. Logging and transport in steep terrain. *Report of the Fourth FAO/AUSTRIA Training course on mountain forest roads and harvesting*. Rome FAO, 1985. 345 p.

26. Khodosovsky M. V. *Issledovaniye prokhodimosti khlystov pri polupodvesnoy trelevke lebedkami.* Dis. kand. tekhn. nauk [Research stems patency at high lead yarding winches. Diss. of the cand. of tekhn. sci.]. Minsk, 1968. 276 p.

Информация об авторе

Шошин Артем Олегович – ассистент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by

Information about the author

Shoshyn Artsiom Olegovich – assistant, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by

Поступила 12.03.2021

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

WOODWORKING INDUSTRY

УДК 678.4.023

Т. И. Копылова[1], С. Г. Гузий[2], И. К. Божелко[3], А. А. Коновалова[3]
[1]УП «Арсен»
[2]Национальный университет гражданской защиты Украины
[3]Белорусский государственный технологический университет

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННОГО ЛАКА ВД АК11Л ПРИ ОКРАСКЕ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА

В работе представлены результаты натурных и ускоренных испытаний по оценке долговечности водно-дисперсионного лака ВД АК11Л, нанесенного на древесину дуба. В период от трех до шести месяцев выдержки образцов в атмосферных условиях не отмечено изменений как сплошности пленки лака, так и цвета подложки. В период от шести до девяти месяцев пленка лака не разрушается, но фиксируется потемнение древесины дуба. На двенадцатый месяц испытаний происходит в 22,5 раза уменьшение адгезии пленки к подложке по сравнению с контрольным образцом. Ослабление пленки лака связано с деструктивными процессами от действия солнечной радиации. Год натурных испытаний соответствует 10 годам эксплуатации. После 100 циклов ускоренных испытаний не выявлено изменений как сплошности лака, так и адгезии пленки к подложке. После 75 циклов ускоренных испытаний наблюдается прирост массы образцов на 7,64% по сравнению с контрольным составом в связи с увеличением водонасыщения пленки из-за ослабления связей между молекулами полимера. Расчетный срок службы покрытия составляет (12,6 ± 10)% лет. Погрешность между двумя методами испытаний не превышает 12,6%. После года хранения лака в закрытой таре в 2,15 раза возрастает динамическая вязкость по сравнению с первоначальной. Однако лак свободно можно наносить на поверхность дуба вследствие незначительных усилий сдвига от 7,82 до 63,47 дин/см^2 в диапазоне скоростей от 0,106 до 0,954 1/с.

Ключевые слова: адгезия, акриловый лак, атмосферостойкость, дуб, срок эксплуатации.

Для цитирования: Копылова Т. И., Гузий С. Г., Божелко И. К., Коновалова А. А. Оценка долговечности водно-дисперсионного лака ВД АК11Л при окраске древесины дуба // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 236–241.

T. I. Kopylova[1], S. G. Guzii[2], I. K. Bazhelka[3], A. A. Kanavalava[3]
[1]Private Company “Arsen”
[2]National University of Civil Defence of Ukraine
[3]Belarusian State Technological University

EVALUATION OF THE DURABILITY OF WATER-DISPERSION LACQUER VD AK11L WHEN PAINTING OAK WOOD

The paper presents the results of full-scale and accelerated tests on the durability assessment of VD AK11L water-dispersion varnish applied to oak wood. During the period from three to six months of holding the samples in atmospheric conditions, no changes were noted in both the continuity of the varnish film and the color of the substrate. In the period from six to nine months, the varnish film does not deteriorate, but darkening of the oak wood is recorded. On the twelfth month of testing, there is a 22.5-fold decrease in the adhesion of the film to the substrate in comparison with the control sample. The weakening of the varnish film is associated with destructive processes from the action of solar radiation. A year of full-scale tests corresponds to 10 years of operation. After 100 cycles of accelerated tests, no changes were found in both the continuity of the varnish and the adhesion of the film to the substrate.

After 75 cycles of accelerated tests, an increase in the mass of the samples by 7.64% is observed in comparison with the control composition due to an increase in the water saturation of the film due to the weakening of bonds between polymer molecules. The design life of the coating is (12.6 ± 10)% years. The error between the two test methods does not exceed 12.6%. After a year of storage in a closed container, the dynamic viscosity increases 2.15 times compared to the initial one. However, the varnish can be freely applied to the oak surface due to minor shear forces from 7.82 to 63.47 dyne/cm^2 in the speed range from 0.106 to 0.954 1/sec.

Key words: adhesion, acrylic lacquer, weatherability, oak, period of operation.

For citation: Kopylova T. I., Guzii S. G., Bazhelka I. K., Kanavalava A. A. Evaluation of the durability of water-dispersion lacquer VD AK11L when painting oak wood. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (226), pp. 236–241 (In Russian).

Введение. В последние время наблюдается тенденция к увеличению спроса на возведение низкоэтажных жилых домов из бревен (бруса) сосны. Для улучшения интерьера как снаружи, так и внутри таких домов многие потребители используют деревянные изделия (оконные блоки, двери и др.) из древесины дуба. Известно, что при изменении как внешних, так и внутренних температурно-влажностных полей [1] изделия из древесины дуба могут менять свою фактуру, растрескиваться и т. д. Актуальным, на наш взгляд, является применение мер, направленных на сохранение фактуры древесины дуба за счет окрашивания поверхности водно-дисперсионными лаками. С учетом того, что только внешняя поверхность изделий из дуба будет контактировать с переменной внешней средой [2] и подвергаться УФ-излучению, возникает необходимость изучения долговечности водно-дисперсионного лака на окрашенной поверхности дуба в реальных условиях эксплуатации.

Согласно данным [3], важнейшим эксплуатационным показателем защитных покрытий является их долговечность, которую оценивают по ГОСТ 9.404–2018 [4] при длительном воздействии искусственных климатических факторов (УФ-облучения, знакопеременных температур, влаги) без учета влияния внутренних напряжений $\sigma_{вн}$ в защитных покрытиях на их долговечность. Помимо эксплуатационных показателей, практический интерес представляет и поведение, или сохранность, реологических свойств водно-дисперсионного лака, применяемого для нанесения на поверхность древесины дуба.

Цель настоящей работы – количественно оценить снижение реологических показателей водно-дисперсионного лака и оценить долговечность покрытий на его основе по древесине дуба.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– исследовать изменения реологических свойств водно-дисперсионного лака во времени;

– оценить атмосферостойкость и срок эксплуатации лакового покрытия по древесине дуба натурными и ускоренными методами.

Объект исследований – процессы формирования лакокрасочного покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками.

Предмет – водно-дисперсионный лак для древесины дуба.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования является лак ВД АК11Л производства УП «Арсен» (г. Минск, Республика Беларусь), представляющий собой рационально подобранную смесь полимерных дисперсий и пленкообразующих, увлажняющих и антивспенивающих добавок. Реологические свойства лака определяли с помощью вискозиметра Брукфильда LV DV2T с использованием шпинделя LV-2C(66). Для натурных испытаний, т. е. испытаний в естественных атмосферных условиях, лак наносили на огрунтованные (грунтовкой УП «Арсен» по дереву) доски дуба размером 375×125×20 мм с шероховатостью Rz60 и в два слоя толщиной до 300 мкм. Лаком обрабатывали лицевую поверхность размером 300×125 мм и две торцевые – размером 300×20 мм. Остальные поверхности обрабатывали воском. Для ускоренных испытаний лак наносили на огрунтованные бруски дуба размером 185×30×20 мм с шероховатостью Rz60 в два слоя толщиной до 300 мкм. Лаком обрабатывали все поверхности брусков, оставляя вощеными торцы и часть лицевых и боковых граней (размер 30×30×20 мм). При натурных испытаниях в естественных атмосферных условиях пластины дуба размещали на подставку под углом 45°, направление на юг; координаты места испытаний – широта: 50°27′16″ с. ш.; долгота: 30°31′25″ в. д.; высота над уровнем моря 187 м. Изменения погоды за период испытаний (18.12.2019–18.12.2020) отражено в базе данных сайта https://www.gismeteo.ua.

Ускоренные испытания образцов размерами 185×30×20 мм проводили согласно рекомендациям Nordic Building&Paint Labs AB (Stubbsund-svagen 17 SE-131 Nacka Sweden) и ГОСТ 9.401–2018 [4] по упрощенной методике. Один цикл испытаний включал в себя следующее:

выдержка в морозильной камере при температуре –18°С – 8–12 ч, выдержка в сушильном шкафу при температуре 50°С – 8–12 ч, замачивание в воде при температуре 20 ± 2°С – 8–12 ч. Общее количество часов в одном цикле составило 36.

Оценку внешнего состояния лакокрасочного покрытия по древесине дуба осуществляли визуально и с помощью стереоскопического микроскопа Delta Optical Discovery 50 (Poland), метод микроскопии – светлое поле; минимальное увеличение – 20; максимальное – 40; окуляры – WF10*/20; кратность – 4*, 2*; рабочий отрезок, максимальный – 50 мм. Микроскоп оснащен цифровой камерой SIGETA MCMOS 5100 5.1MP (China).

Адгезию лакового покрытия к деревянной подложке определяли с помощью прибора NOVOTEST АЦ-1 ДСТУ 4219-2003 [5] (Приложение Е.3) и адгезиметра надрезов многолезвийного АН-1 (ГОСТ 15140 [6]).

Основная часть. Изменения основных реологических характеристик лака ВД АК11Л приведено на рис. 1, 2. Как видно из рис. 1, после года изготовления и хранения в закрытой таре в нормальных условиях лак загущается вследствие прохождения реакции полимеризации, кривые изменения динамической вязкости изменяются по экспонентной зависимости с очевидной разницей по абсолютным значениям [4].

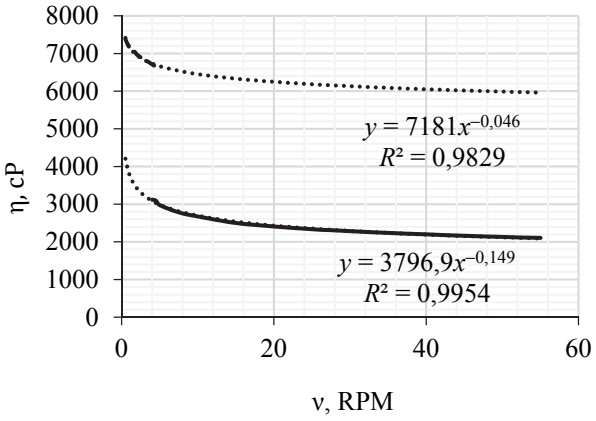


Рис. 1. Зависимость изменения динамической вязкости лака ВД АК11Л от скорости вращения шпинделя:
——— свежеприготовленный лак;
……. лак после года хранения

Несмотря за загустевание, т. е. увеличение значений динамической вязкости, лак после года хранения не теряет своей способности к нанесению на деревянную основу.

Из данных рис. 2 следует, что в диапазоне малых скоростей сдвига от 0,106 до 0,954 1/с усилие сдвига находится в пределах от 7,82 до 63,47 дин/см^2 и лак без особых усилий можно наносить как кистью, так и валиком на дубовые поверхности.

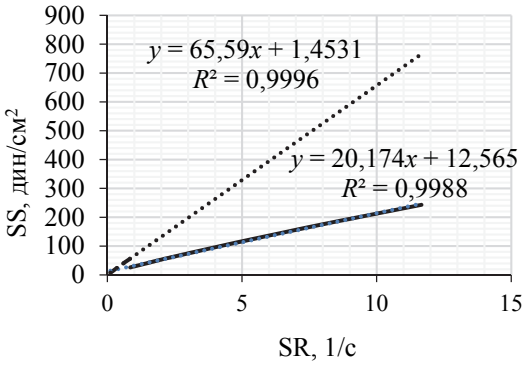


Рис. 2. Зависимость изменения усилия сдвига ВД АК11Л от скорости сдвига:
——— свежеприготовленный лак;
…… лак после года хранения

Ниже приведены данные об изменении внешнего вида образцов дуба, окрашенных лаком ВД АК11Л и находящихся в условиях внешней среды (рис. 3).

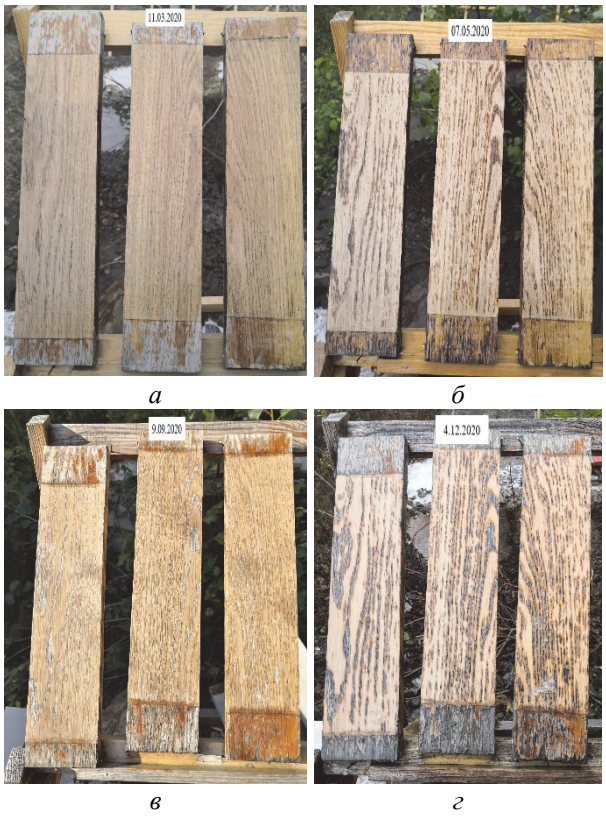
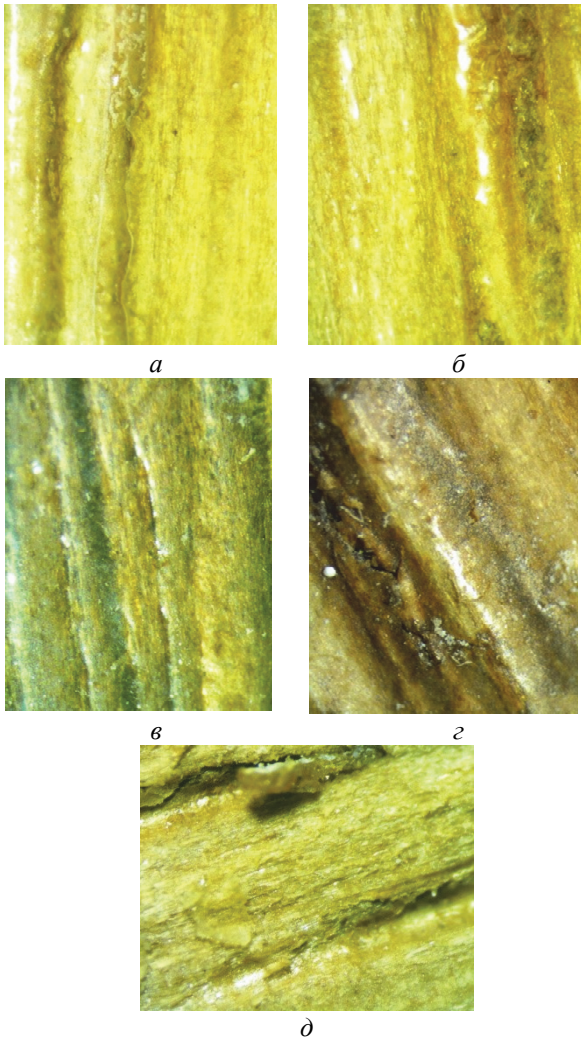


Рис. 3. Фотографии внешнего вида лакированных дубовых образцов после их выдержки в атмосферных условиях в течение, мес.:
а – 3; *б* – 6; *в* – 9; *г* – 12

Как видно с рис. 3, после 3 мес. выдержки образцов в естественных атмосферных условиях не отмечено изменений во внешнем виде

образцов дуба, покрытого лаком. На 6-й мес. выдержки появляется танинное окрашивание волокон дуба.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 4. Макрофотографии лакового покрытия на поверхности дуба вначале (*а*) и в процессе натурных испытаний после 3 (*б*), 6 (*в*), 9 (*г*) и 12 (*д*) мес.

Появление танинного окрашивания можно трактовать с двух точек зрения: вследствие незначительного проникновения влаги через пленку лака или за счет бактериального или грибкового поражения [7, 8]. Этот же дефект проявляется и на 9-й мес. выдержки (рис. 4). Следует отметить, что за 9 мес. от начала испытаний блеск лака не исчезает, вздутий, отслоений лакового покрытия от подложки не наблюдается. На 12-й мес. выдержки отмечено более интенсивное выражение танинных проявлений, лак становится блеклым, но вздутий, отслоений лакового покрытия от подложки не отмечено.

На рис. 5 приведены фотографии образцов после атмосферных и ускоренных испытаний. Как видно из рис. 5, *а*, после года выдержки окрашенных образцов дуба в атмосферных условиях изменился их внешний вид: пленка лака стала блеклой, изменилась поверхность дуба под пленкой лака, возросла интенсивность окрашивания волокон. Величина адгезии, определенная методом решетчатых надрезов, как в контрольном экземпляре, так и в исследуемых составила 1 балл, что подтверждает достаточно высокое сцепление лака с поверхностью.

а *б*

Рис. 5. Фотографии образцов после года выдержки в атмосферных условиях (*а*) и после 100 циклов ускоренных испытаний (*б*)

Существенно упало значение величины адгезии, определенной методом отрыва, с 9 МПа, до 0,4 МПа, т. е. в 22,5 раза. Такое падение вполне объяснимо – прямое действие солнечной радиации, приводящее к термохимической деструкции полимера. Априори принято, что выдержка образцов в атмосферных условиях в течение одного года соответствует 10 годам эксплуатации.

После 100 циклов ускоренных испытаний не отмечено существенного изменения в блеске лака по сравнению с контрольным образцом. Величины адгезии – 9 МПа (рис. 6) и 1 балл не изменились в процессе испытаний. Отслоений, вздутий покрытия от подложки не отмечено.

Максимальный прирост массы покрытий составил 7,64% после 75 циклов ускоренных испытаний (рис. 6). Отмеченный прирост массы, по нашему мнению, связан с незначительным ослаблением связей между молекулами полимера что, как следствие, способствует увеличению водопоглощения пленки лака. Характер кривой изменения массы имеет полиноминальную зависимость, это несколько противоречит данным работы [9], в которой отмечено, что изменение массы покрытий происходит по закону квадратичной параболы. Противоречие объяснимо, так как исследовались разные по функциональному назначению покрытия.

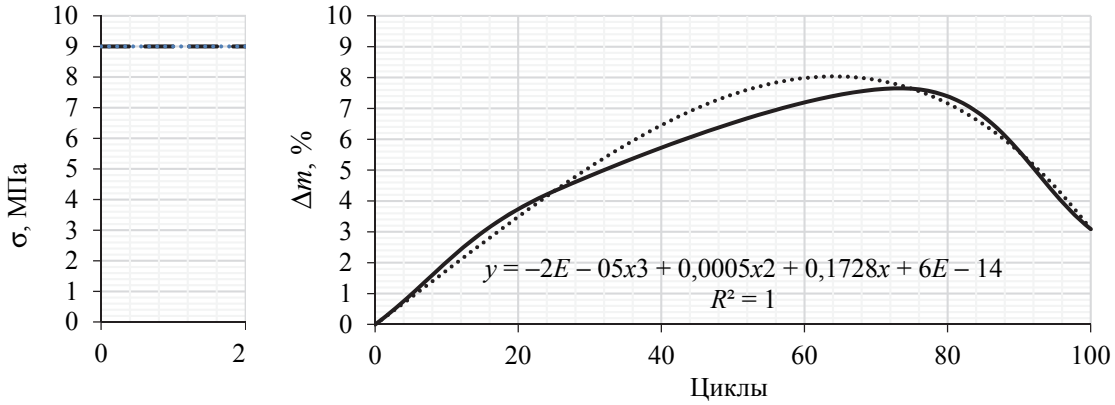


Рис. 6. Изменение прочности при отрыве и потери массы покрытий в процессе ускоренных испытаний:
--- изменение прочности при нормальном отрыве;
— изменение массы образцов в процентах, в зависимости от циклов испытаний

Прогнозируемый срок службы лакокрасочных покрытий $\tau_э$ в годах, в условиях эксплуатации рассчитывали по формуле

$$\tau_э = \frac{k_y \cdot \tau_y}{365},$$

где k_y – коэффициент ускорения, равный 46 для условий У1 (У – условия эксплуатации для макроклиматического района с умеренным климатом; 1 – для эксплуатации на открытом воздухе); τ_y – продолжительность ускоренных испытаний (в циклах) до достижения уровня ухудшения декоративных и защитных свойств, а именно: снижение адгезии не более балла 3 (АЗЗ) по ГОСТ 9.407–2015 [10], а площадь разрушения покрытия не должна превышать 15% поверхности изделия.

Так как подобных нарушений при ускоренных испытаниях покрытия не обнаружено, то, соответственно срок службы покрытия $\tau_э = 46 \cdot 100 / 365 = 12{,}6 \pm 10\%$ лет с учетом ошибки прогнозирования ±10%.

Заключение. Проведена оценка влияния на долговечность покрытий древесины дуба лаком ВД АК11Л по двум методикам: натурной и ускоренной. Показано, что после года выдержки лакированных образцов в атмосферных условиях в 22,5 раза снижаются адгезионные свойства покрытия по сравнению с контрольным составом. Выдержка образцов в атмосферных условиях в течение одного года соответствует 10 годам эксплуатации. После 100 циклов ускоренных испытаний не выявлено изменений адгезии лакового покрытия к подложке. Наибольший прирост массы покрытия (в 7,64%) зафиксирован при 75 циклах ускоренных испытаний. Установлено, что основная роль в разрушении защитных покрытий принадлежит солнечной радиации, вызывающей термохимическую деструкцию акрилового полимера. Погрешность между двумя методами испытаний не превышает 12,6%. Отмечено после года хранения возрастание значений динамической вязкости лака в 2,15 раза по сравнению с первоначальной. Несмотря на незначительное загустевание лака в диапазоне малых скоростей сдвига от 0,106 до 0,954 1/с усилие сдвига находится в пределах от 7,82 до 63,47 дин/см^2, что позволяет наносить лак как кистью, так и валиком на дубовые поверхности без особых усилий.

Список литературы

1. Прокопчук Н. Р. Оценка долговечности полимерных изделий // Стандартизация. 2008. № 1. С. 41–45.

2. Крутько Э. Т., Прокопчук Н. Р. Химия и технология лакокрасочных материалов и покрытий: учеб. пособие для студентов вузов. Минск: БГТУ, 2004. 314 с.

3. Прокопчук Н. Р., Кухта, Т. Н. Оценка влияния внутренних напряжений на долговечность покрытий из порошковых красок // Труды БГТУ. 2014. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 55–59.

4. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов: ГОСТ 9.401–2018. Введ. 01.12.2019. М.: Стандартинформ, 2019. 124 с.

5. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии: ДСТУ 4219–2003. Введ. 01.12.2003. Київ: Редакційно-виданичий відділ ДП «УкрНДНЦ», 2003. С. 43–47.

6. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии: ГОСТ 15140–78. Введ. 01.01.1979. М.: ИПК «Издательство стандартов», 1996. 12 с.

7. Стойе Д., Фрейтаг В. Краски, покрытия и растворители. СПб.: Профессия,2007. 528 с.

8. Schultz T. P., Nicholas D. D. Solid Wood Processing. Protection of Wood against Biodeterioration // Encyclopedia of Forest Sciences. 2004. P. 1274–1282.

9. Логанина В. Т., Орентлихер Л. П. Качество отделки строительных изделий и конструкций красочными составами: монография. М.: Изд-во АСВ, 2002. 144 с.

10. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида: ГОСТ 9.407–2015. Введ. 01.05.2017. М.: Стандартинформ, 2015. 44 с.

References

1. Prokopchuk N. R. Evaluation of the durability of polymer products. *Standartizatsiya* [Standardization], 2008, no. 1, pp. 41–45 (In Russian).

2. Krutko E. T., Prokopchuk N. R. *Khimiya i tekhnologiya lakokrasochnykh materialov i pokrytiy* [Chemistry and technology of paint and varnish materials and coatings]. Minsk, BGTU Publ., 2004. 314 p.

3. Prokopckuk N. R., Kukhta T. N. Assessment of influence of the internal stresses on the durability of coatings from powder paint. *Trudy BGTU* [Proceding BSTU], 2014, no. 4, Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, pp. 55–59 (In Russian).

4. GOST 9.401–2018. *Yedinaya sistyema zashchity ot korrozii i staryeniya. Pokrytiya lakokrasochnyye. Obshchiye trebovaniya i metody uskorennykh ispytaniy na stoykost' k vozdeystviyu klimaticheskikh faktorov* [Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. General requirements and methods of accelerated tests on resistance to the influence of climatic factors]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 124 p. (In Russian).

5. DSTU 4219–2003 *Ttuboprovody stal'nyye magistral'nyye. Obshchiye tryebovaniya k zashchite ot korrozii* [Steel pipe mains. General requirements for corrosion protection]. Kyiv, 2003, pp. 43–47 (In Ukrainian).

6. GOST 31149–2014. *Materialy lakokrasochnyye. Metody opredeleniya adgezii* [Paint materials. Determination of adhesive by cross-cut method]. Moscow, Standardinform Publ., 2014, 16 p. (In Russian).

7. Stoye D., Freytag W. *Kraski, pokrytiya i rastvoriteli* [Paints, coatings and solvents]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2007. 528 p.

8. Schultz T. P., Nicholas D. D. Solid Wood Processing. Protection of Wood against Biodeterioration. *Encyclopedia of Forest Sciences*, 2004, pp. 1274–1282.

9. Loganina V. T., Orentlikher L. P. *Kachestvo otdelki stroityel'nykh izdeliy i konstruktsiy krasochnymi sostavami* [The quality of finishing of building products and structures with colorful compounds]. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 2002. 144 p.

10. GOST 9.407-2015. *Yedinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Pokrytiya lakokrasochnyye. Metod otsyenki vneshnego vida* [Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Method of appearance rating]. Moscow, Standardinform Publ., 2015. 44 p. (In Russian).

Информация об авторах

Копылова Тамара Игнатьевна − директор УП «Арсен» (220036, г. Минск, ул. Р. Люксембург, 90а-7а, Республика Беларусь). E-mail: ta3110@mail.ru

Гузий Сергей Григорьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, кафедра пожарной безопасности в населенных пунктах. Национальный университет гражданской защиты Украины (61023, г. Харьков, ул. Чернышевская 94, Украина). E-mail: guziy@nuczu.edu.ua

Божелко Игорь Константинович − кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообработки. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

Коновалова Анастасия Александровна – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Information about the authors

Kopylova Tamara Ignatievna − Director of the Unitary Enterprise Arsen (90a-7a, R. Luxemburg str., 220036, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ta3110@mail.ru

Guzii Sergii Grygorovych – PhD (Engineering), Senior researcher, the Department of fire prevention in settlements. National University of Civil Defence of Ukraine (94, Chernishevska str., Kharkiv, 61023, Ukraine). E-mail: guziy@nuczu.edu.ua

Bazhelka Ihar Konstantirovich − PhD (Engineering), Assistant Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

Kanavalava Anastasiya Alexandrovna – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Поступила 20.03.2021

УДК 625.172:625.142.21

А. Б. Невзорова, В. В. Романенко
Белорусский государственный университет транспорта

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ В КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

Целью работы является анализ содержания криволинейных участков пути на деревянных шпалах и выработка решений для приведения кривых к положению, которое удовлетворяет условиям обеспечения установленной скорости на участке. Задача получения достоверной и адекватной информации о техническом состоянии и распределении путей с деревянными шпалами решается с использованием статистического количественного анализа по открытым источникам Белорусской железной дороги. Установлено, что 37% станционных путей и 61% путей необщего пользования остаются лежать на деревянных шпалах. Средний процент изношенных шпал по всем дистанциям составляет 13%. Приведены основные дефекты деревянных шпал, которые приводят к «расстройству» криволинейных участков железнодорожного пути. Одной из наиболее частых неисправностей на путях с деревянными шпалами является увеличение ширины рельсовой колеи, устраняемое перешивкой. На основе анализа прохождения подвижного состава в кривых сформулирована и обоснована целесообразность использования деревянных шпал в кривых малого радиуса (меньше 350 м), позволяющих обеспечить нормативное уширение колеи пути до 1530 или 1535 мм, что невозможно для железобетонных шпал. Предлагаются мероприятия, которые позволят с наибольшей эффективностью привести расстроенные кривые к положению, удовлетворяющему требованиям нормативной документации.

Ключевые слова: деревянные шпалы, путь, ширина колеи, кривые, изгиб, рельсошпальная решетка.

Для цитирования: Невзорова А. Б., Романенко В. В. О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках // Труды БГТУ. Сер. 1, Природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 242–249.

A. B. Neuzorava, V. V. Romanenko
Belarusian State University of Transport

ON THE FEASIBILITY AND PROSPECTS OF USING WOODEN SLEEPERS IN CURVILINEAR SECTIONS

The aim of the work is to analyze the track maintenance of curved sections on wooden sleepers and development of solutions to bring the curves to a position that satisfies the condition pits providing the set speed on the curved track. The task of obtaining reliable and adequate information about the technical condition and distribution of tracks with wooden sleepers is solved using statistical quantitative analysis from open sources of the Belarusian Railway. It was found that 37% of station tracks and 61% of non-general use tracks remain on wooden sleepers. The average percentage of worn sleepers over all distances is 13 %. The main defects of wooden sleepers which lead to the track deterioration of curved sections of the railway track, are given. One of the most common faults in the tracks of wooden sleepers is the widening of gauge on curves that the remaking of the adjustment of the track gauge. On the analysis of the passage of rolling stock in the curves are formulated and substantiated the feasibility of using wooden sleepers in curves of small radius (less than 350 m), allowing to provide normative widening the track path to 1530 or 1535 mm or that it is impossible for concrete sleepers. The measures are proposed that allow to bring the deterioration curves track on wooden sleepers to the position that meets the requirements of the regulatory documentation with the greatest efficiency.

Key words: wooden sleepers, track, standard gauge, curves, bend, rail-sleeper grid.

For citation: Nevzorova A. B., Romanenko V. V. On the feasibility and prospects of using wooden sleepers in curvilinear sections. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (226), pp. 242–249 (In Russian).

Введение. В настоящее время на станционных путях Белорусской железной дороги и путях необщего пользования эксплуатируются деревянные шпалы. Основным требованием, предъявляемым к деревянным шпалам, является обеспечение стабильной работы подрельсового основания при максимально возможном сроке их службы. Это достигается различными способами,

в частности при изготовлении: обоснованием рациональных типоразмеров шпал, их пропиткой, улучшением физико-механических свойств; при эксплуатации: соблюдением требований по надлежащему уходу и проведению своевременного ремонта шпал [1–3].

Использование деревянных шпал в кривых малого радиуса (до 350 м) позволяет делать более мягким прохождение вагонов по колее. Срок службы деревянных шпал в зависимости от рода древесины (в основном сосна, реже ель), внешних условий и интенсивности эксплуатации составляет от 7 до 20 лет. Основной проблемой содержания является их склонность к загниванию в местах крепления рельсов из-за постоянной вибрации, контакта с атмосферными проявлениями, высоким динамическим воздействием от подвижного состава [4, 5] и т. п.

Второй серьезной проблемой является снижение надежности эксплуатации промежуточного скрепления (смешанного типа ДО) в шпалах из мягких пород древесины, особенно в части обеспечения стабильности ширины колеи. Зачастую как в прямых, так и в кривых с радиусами от 350 до 650 м, это приводит к увеличению ширины колеи до размеров, соответствующих III и IV степеням отступлений, что влечет за собой увеличение зазоров между гребнями колес и поверхностью катания рельсов до 40 мм [6, 7]. Такое отклонение от нормативных значений неблагоприятно сказывается на устойчивости прохождения порожних вагонов.

Основная тенденция, обусловленная системой ведения путевого хозяйства, заключается в укладке рельсошпальной решетки только на железобетонных шпалах при всех видах ремонта. Это обусловлено более высоким сроком службы и возможностью обеспечения нормативов по их содержанию [8]. В то же время деревянная шпала более эластична и может сопротивляться нагрузкам. Ввиду того, что железобетонная шпала менее ударопрочна, в комплект промежуточного скрепления под рельс и под металлическую подкладку (скрепление КБ) кладут резиновые прокладки для смягчения вибрации и динамических нагрузок.

При том, что эксплуатация железобетонных шпал выгоднее, чем деревянных (долговечнее, а, следовательно, меньший оборот материалов), одномоментно заменить ими все уложенные ранее деревянные – невозможно, а в отдельных случаях и нет смысла, так как производство деревянных шпал до сих пор намного проще, чем железобетонных [9].

Целью работы является анализ состояния криволинейных участков пути на деревянных шпалах и выработка решений для приведения кривых к положению, которое удовлетворяет условиям обеспечения установленной на участке скорости.

Основная часть. По состоянию Белорусской железной дороги на 01.01.2021 протяженность пути на деревянных шпалах составляет 1962,7 км, что, по отношению к протяженности пути на железобетонных шпалах, составляет порядка 20%, в том числе на главных путях – 137,8 км, станционных – 1287,6 км, путях необщего пользования – 537,3 км. Абсолютное большинство главных путей (около 98%) эксплуатируется на железобетонных шпалах, в то время как 37% станционных и 61% путей необщего пользования остаются лежать на деревянных шпалах [10]. Распределение путей на деревянных шпалах приведено на рис. 1.

На пути остается лежать 2641,9 тыс. деревянных шпал, из которых 392,4 тыс. изношенные, что составляет 14,9% от общего количества. Число шпал с различными видами дефектов в дистанциях доходит до 92 тыс. (ПЧ-6, Брестская дистанция пути [10]), что составляет 23,1% от общего количества. Однако такое количество объясняется и максимальной протяженностью станционных путей по всей дороге, обслуживаемых Брестской дистанцией пути. Средний процент изношенных шпал по всем дистанциям составляет 13%.

В экономическом плане перспектива развития путевого хозяйства должна сводиться к увеличению расходов на ремонтные работы и к планомерному снижению расходов на текущее содержание. Выполнение такой программы требует сокращения протяженности пути на деревянных шпалах, так как их обслуживание ограничивает долю машинизации путевых работ и увеличивает долю ручного исполнения. Согласно существующей системе ведения путевого хозяйства, предусматривается выполнение ремонтов не только на новых материалах верхнего строения пути, но и на старогодных, например, восстановительный ремонт пути на старогодных материалах, что, в свою очередь, увеличивает нормативный срок службы конструкции пути [11].

В связи с большим процентом выхода и сравнительно небольшим сроком годности ежегодно в процессе текущего содержания укладывается в путь порядка 150–170 тыс. шт. новых деревянных шпал.

За последние пять лет количество заменяемых шпал уменьшилось, это связано с тем, что при выполнении ремонтов рельсошпальная решетка собирается преимущественно на железобетонных шпалах, в том числе старогодных для станционных путей, и путях необщего пользования.

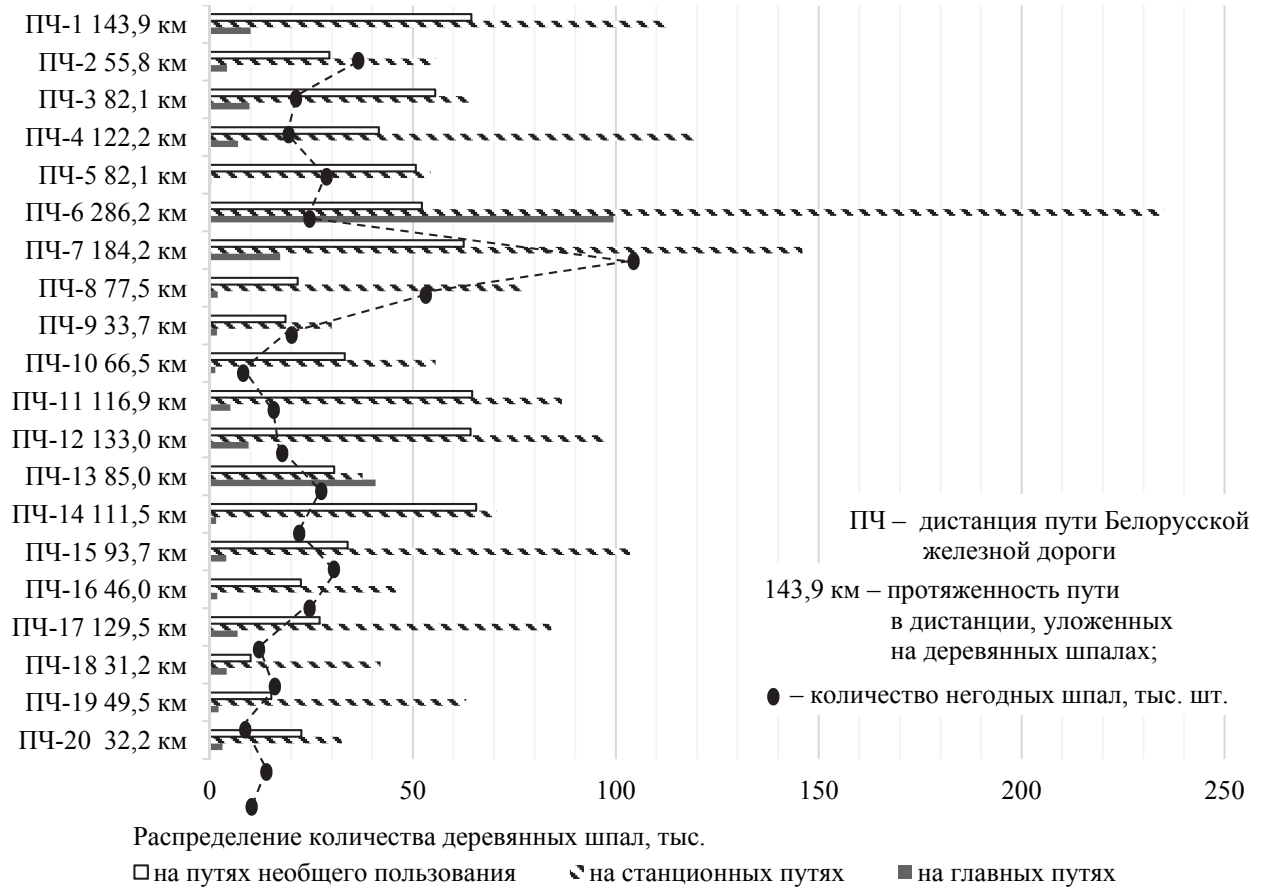


Рис. 1. Распределение путей с деревянными шпалами в дистанциях пути (ПЧ) Белорусской железной дороги

Динамика замены шпал с 2011 по 2019 г. приведена в табл. 1.

Таблица 1

Динамика замены шпал на БЖД

Год	Уложено деревянных шпал, тыс. шт.	Итого за весь период, тыс. шт.
2011	328,5	1927,5
2012	258,5	
2013	324,5	
2014	207,5	
2015	169,3	
2016	148,0	
2017	162,5	
2018	158,5	
2019	170,2	

Срок службы железобетонных шпал составляет порядка 35–40 лет, кроме того, их использование дает возможность выполнения порядка 55% работ по текущему содержанию полностью машинами без привлечения монтеров пути, в то время как на деревянных шпалах этот показатель не превышает 35%.

Одной из наиболее частых неисправностей на путях с деревянными шпалами является увеличение ширины рельсовой колеи, устраняемое перешивкой. Вследствие частых перешивок, нарушения технологии постановки прикрепителей (костылей или шурупов) и т. п. происходит смятие древесины. Забивка костылей и постановка шурупов без предварительной насверловки отверстий разрушает древесину в зоне крепления рельса к подкладке (рис. 2).

Рис. 2. Разрушение древесины вследствие нарушения технологии прикрепления костылей

Подобные деформации из-за излома волокон древесины, ее загнивания и, как следствие, нарушения устойчивости рельсовой колеи приводят к снижению удерживающей способности рельсов [1].

Разработка костыльных отверстий способствует расхождению рельсовых нитей под нагрузкой,

что при превышении определенных величин может привести к сходу колесных пар подвижного состава. Положение усугубляется наличием кустовой гнилости – три и более изношенных шпал подряд.

Так, например, из-за наличия «куста» в количестве семи шпал в пределах переводной кривой на пути необщего пользования, примыкающего к станции Красный Берег Бобруйской дистанции пути, произошел сход левого колеса второй колесной пары тепловоза. Причиной схода стало увеличение ширины колеи до 1553 мм, в то время когда, согласно Правилам технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь, допускаемая ширина разрешается 1548 мм [11].

Последствием схода стало приведение в негодность дополнительного количества соседних шпал, что привело к увеличению объема работ по восстановлению и расхода материалов верхнего строения пути [12].

Согласно принятой конструкции, на деревянных шпалах на дороге эксплуатируется только звеньевой путь, нормативы для которого кроме геометрии рельсовой колеи регламентируют и параметры содержания стыковых зазоров [13, 14]. От силового воздействия, передаваемого от подвижного состава через рельс на металлическую подкладку, древесина в этой зоне сминается, растрескивается, загнивает и т. п., а в зоне стыка это воздействие усиливается [6]. При ударе колеса в торец рельса, на который оно накатывается, возникает провисание стыка, которое может сопровождаться «ступенькой». Непринятие своевременных мер по устранению вертикальной ступеньки в стыке приводит к возникновению дефектов, которые влекут за собой дополнительные работы по наплавке и шлифовке концов рельса (рис. 3).

Рис. 3. Смятие конца рельса на деревянных шпалах

В случае резкого отклонения ширины колеи нарушается и отвод ширины колеи, что в совокупности с нарушением плавности вызывает появление «угла» в плане.

Содержание пути на деревянных шпалах занимает существенный объем ежегодных путевых работ по выправке. Так, например, на станции Орша-Центральная парк «Д» в пути № 29 Оршанской дистанции БЖД (ПЧ-1) эксплуатируется кривая, уложенная на деревянных шпалах. Начало кривой – 510 км + 37 м, конец кривой – 510 км + 89 м, длина первой и второй переходных кривых – 10 м, возвышение наружного рельса – 5 мм. Радиус кривой – 290 м. Оценка состояния кривой в плане выполняется по стрелам изгиба. Данные результатов промеров за 2020 г. (двадцать одно измерение) приведены в табл. 2, где $f_{пр}$ – проектные стрелы изгиба, мм; $f_{нат}$ – натурные стрелы изгиба, мм; У – положение рельсовых нитей по уровню, мм.

На рис. 4 приведен график натурных стрел изгиба от середины 20-метровой хорды в точках через 2 м – натурные стрелы изгиба для определения положения пути в плане и проверки наличия «углов». График натурных стрел изгиба показывает положение существующей кривой, а график проектных – положение «правильной» кривой с соответствующими параметрами [3].

Данная кривая кроме малого радиуса (290 м) имеет небольшую длину – 52 м. Эти обстоятельства во многом определяют ее существующее положение. При прохождении подвижного состава в пределах данной кривой плавность ухудшается, что можно определить по соотношению графика натурных и проектных стрел изгиба. Эксплуатация рельсовых нитей на деревянных шпалах в подобных случаях, с одной стороны, дает снижение устойчивости, а с другой – позволяет увеличить ширину колеи с 1520 мм до 1530 мм, в противном случае можно предположить, что положение кривой было бы еще более «расстроенным».

Согласно данным [13], допускаемая разность стрел изгиба, которая обеспечивает безопасный пропуск поездов со скоростью 15 км/ч, составляет 100 мм.

Неустойчивость положения криволинейного пути в плане вызвало появление «угла», что подтверждается разностью смежных стрел изгиба f в точках через 10 м [Δf], а именно:

– между f_1 (45 мм) и f_5 (122 мм) разница Δf = 77 мм (рис. 4);

– f_5 (122 мм) и f_{10} (272 мм) – Δf = 150 мм;

– f_{10} (272 мм) и f_{15} (154 мм) – Δf = 118 мм;

– f_{15} (272 мм) и f_{20} (154 мм) – Δf = 104 мм.

Как видно из расчетов, в вершине «угла» от f_5 до f_{15} существующая разность – 150 мм и 118 мм, что превышает допускаемую величину и требует незамедлительных выправочных работ (рис. 5). С большой долей вероятности можно предположить, что ввиду эксплуатации конструкции пути с деревянными шпалами в рассматриваемом месте имеется нарушение величины ширины колеи, близкое к критическому.

Таблица 2

Данные промеров стрел изгиба криволинейного участка на деревянных шпалах

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$f_{пр}$	20	50	80	110	140	170	200	230	230	230	230	230	230	230	200	170	140	110	80	50	20
$f_{нат}$	45	45	65	100	122	148	175	212	240	272	280	260	226	193	154	125	100	78	65	50	50
У	12	14	14	12	18	18	16	12	12	10	6	8	8	8	12	12	8	8	6	2	-2

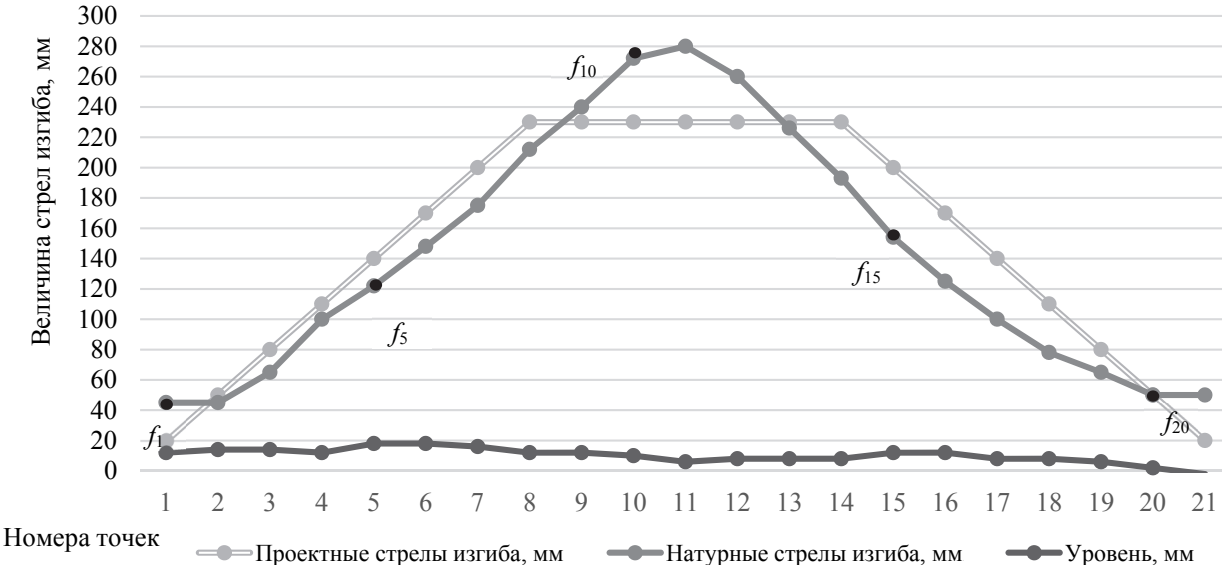


Рис. 4. Графики стрел изгиба

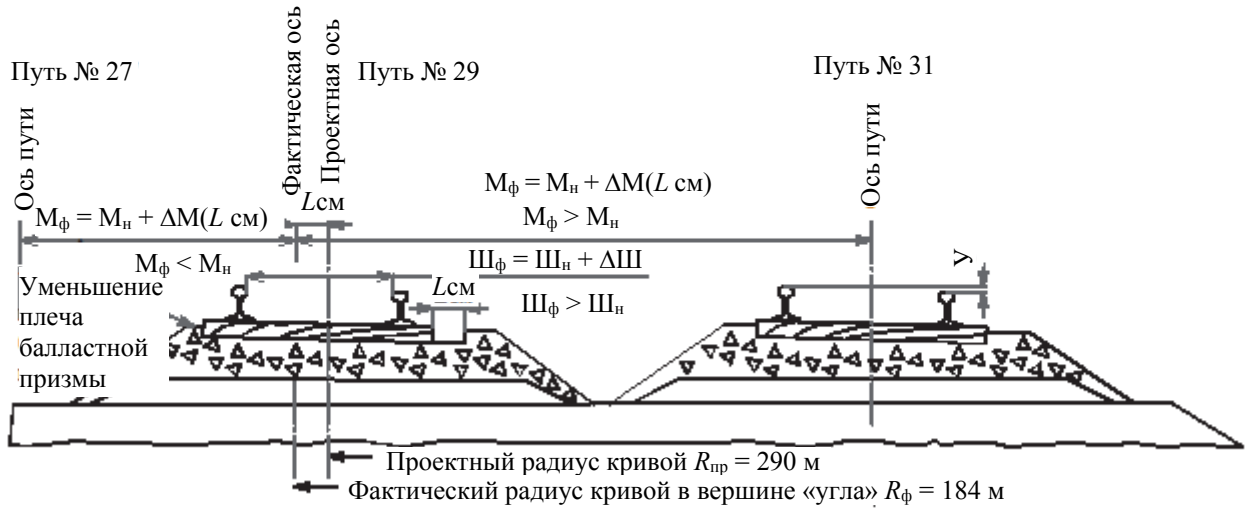


Рис. 5. Поперечный профиль станционных путей в сечении вершины «угла» пути № 29

Вследствие разрушения древесины и разработки костыльных отверстий (рис. 2) нормативная ширина колеи $Ш_н$ увеличится на ΔШ, при этом $Ш_н + ΔШ = Ш_ф > Ш_н$.

Величина стрелы изгиба в вершине «угла» f_{10} составляет 272 мм, что соответствует радиусу круговой кривой $R_{кк}$ = 184 м. Уменьшение радиуса приводит к смещению положения рельсошпальной решетки наружу кривой ($L_{см}$) и вызывает, с одной стороны, образование ниши в балласте, а с противоположной – уменьшение плеча балластной призмы. Смещение $L_{см}$ в свою очередь приведет к изменению ширины междупутья М, в сторону пути № 31 оно увеличится, а в сторону пути № 27 – уменьшится, что может повлечь за собой нарушение габарита.

Для приведения кривой к проектному положению необходимо в первую очередь:

– заменить все изношенные деревянные шпалы на новые такого же типа;

– вставить специальные втулки для плотной фиксации прикрепителей в разработанные костыльные отверстия;

– произвести рихтовку пути – смещение рельсошпальной решетки в плане для устранения «угла»;

– довести очертания балластной призмы до необходимых значений, уплотнить балласт.

Для более объективной оценки существующего положения и определения ремонтных задач необходимо учитывать еще ряд параметров, например качество балласта и соблюдение геометрических параметров балластной призмы (т. е. нарушение размеров плеча и крутизны откоса). Недостаточное количество щебня также снижает степень устойчивости и способствует увеличению смещения пути.

Поэтому, кроме существующих оценочных данных, предлагается ввести дополнительные параметры, отражающие способность путевой решетки сопротивляться сдвигу в кривых. Эти параметры необходимы для качественной оценки обоснования целесообразности применения деревянных шпал в определенных случаях, в частности, когда длина кривой до 100 м и ее радиус не превышает 350 мм.

Заключение. Таким образом, несмотря на то, что применение железобетонных шпал позволяет обеспечить надежную ширину колеи и наиболее стабильное положение геометрии рельсовой колеи в криволинейных участках в плане, для кривых малого радиуса (менее 350 м) содержание на деревянных шпалах обусловлено необходимостью обеспечения нормативного увеличения ширины колеи 1530 мм или 1535 мм, что невозможно на железобетонных шпалах. В противном случае прохождение подвижного состава будет происходить в режиме принудительного или заклиненного вписывания и негативно влиять на интенсивность роста бокового износа рельс и (или) колесных пар. Кроме того, пути на железобетонных шпалах укладываются только на щебеночном балласте, а деревянные шпалы возможно эксплуатировать на гравийном либо песчано-гравийном балласте.

Поэтому считаем, что 100-процентный отказ от использования деревянных шпал не представляется возможным даже в долгосрочной перспективе. Переход только на железобетонные шпалы вызовет необходимость уположения радиуса кривых, что, в свою очередь, приведет к реконструкции станционных путей, которая в ближайшие десятилетия не имеет ни финансового, ни технического обоснования.

Список литературы

1. Елисеев А. П., Жабин В. И., Казанцев В. В. Оценка состояния деревянных шпал промышленных железных дорог // Известия ВУЗов. Лесной журнал, 1999. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-derevyannyh-shpal-promyshlennyh-zheleznyh-dorog (дата обращения: 26.02.2021).

2. Божелко И. К. Физико-механические свойства комбинированных деревянных шпал // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2 (210). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-mehanicheskie-svoystva-kombinirovannyh-derevyannyh-shpal (дата обращения: 21.02.2021).

3. Чуян С. Н. Продление жизненного цикла деревянных шпал и стрелочных брусьев // Наука и образование транспорту: сб. науч. ст. Секция 1. Подвижной состав железных дорог и муниципальный пассажирский транспорт. Самара, 2017. № 1. С. 76–79.

4. Невзорова А. Б. Теоретические основы и технология механотрансформации древесины. Гомель: БелГУТ, 2003. 160 с.

5. Божелко И. К., Леонович О. К. Определение долговечности защитных средств для древесины, эксплуатируемой в тяжелых условиях // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2011. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-dolgovechnosti-zaschitnyh-sredstv-dlya-drevesiny-ekspluatiruemoy-v-tyazhelyh-usloviyah (дата обращения: 26.02.2021).

6. Карпущенко Н. И., Величко Д. В., Бобовникова Н. А. Влияние ширины колеи и состояния ходовых частей подвижного состава на интенсивность износов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2010. № 3 (28). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-shiriny-kolei-i-sostoyaniya-hodovyh-chastey-podvizhnogo-sostava-na-intensivnost-iznosov (дата обращения: 24.02.2021).

7. Влияние геометрических параметров железнодорожного пути на величину эквивалентной коничности колесной пары / А. А. Киселев [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2019. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geometricheskih-parametrov-zhelez-nodorozhnogo-puti-na-velichinu-ekvivalentnoy-konichnosti-kolesnoy-pary (дата обращения: 24.02.2021).

8. Особенности измерения и содержания рельсовой колеи на железобетонных шпалах / В. И. Матвецов [и др.] // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта.

Наука и прогресс транспорта. 2007. № 17. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-izmereniya-i-soderzhaniya-relsovoy-koleinazhelezobetonnyh-shpalah (дата обращения: 24.02.2021).

9. Пронин М. В., Богданов В. В. Корпоративная эффективность слияний и поглощений (на примере производства деревянных шпал) // Экономика и управление. 2007. № 6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/korporativnaya-effektivnost-sliyaniy-i-pogloscheniy-na-primere-proizvodstva-derevyannyh-shpal (дата обращения: 26.02.2021).

10. Структура Белорусской железной дороги // Белорусская железная дорога. URL: https://www.rw.by/corporate/structure/ (дата обращения: 21.01.2021).

11. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги: СТП БЧ 56.388-2018: утв. приказом зам. нач. Бел. ж. д. от 17.12.2018 № 1072 НЗ. Введ. 01.01.19. Минск: Белорусская железная дорога, 2018. 27 с.

12. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ: СТП БЧ 09150.56.010-2005: утв. приказом нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. Введ. 01.07.06. Минск: Белорусская железная дорога, 2006. 283 с.

13. Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь: утв. постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь 25.11.2015 № 52. Введ. 01.06.16. Минск: Министерство транспорта и коммуникаций, 2016. 351 с.

14. Стыковые зазоры 25-метровых рельсов / В. И. Матвецов [и др.] // Путь и путевое хозяйство: сб. науч. ст. М., 2013. № 6. С. 20–23.

15. Каленик К. Л. Обоснование схемы укладки железобетонных шпал вместо непригодных деревянных // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Наука и прогресс транспорта. 2008. № 22. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-shemy-ukladki-zhelezobetonnyh-shpal-vmesto-neprigodnyh-derevyannyh. (дата обращения: 24.02.2021).

References

1. Eliseev A. P., Zhabin V. I., Kazantsev V. V. Evaluation of the state of wooden sleepers of industrial railroads. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1999, no. 2. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-derevyannyh-shpal-promyshlennyh-zheleznyh-dorog (accessed 26.02.2021).

2. Bozhelko I. K. Physico-mechanical Properties of Combined Wooden Sleepers // *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 2 (210) (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-mehanicheskie-svoystva-kombinirovannyh-derevyannyh-shpal (accessed 21.02.2021).

3. Chuyan S. N. Extension of the life cycle of wooden sleepers and switch beams. *Nauka i obrazovaniye transportu* [Science and Education for Transport: collection of scientific papers], section 1, Rolling stock of railroads and municipal passenger transport. Samara, 2017, no. 1, pp. 76–79.

4. Nevzorova A. B. *Teoreticheskiye osnovu i tekhnologiya mekhanotransformatsii drevesiny* [Theoretical bases and technology of mechanotransformation of wood]. Gomel, BelGUT Publ., 2003. 160 p.

5. Bozhelko I. K., Leonovich O. K. Determination of durability of protective agents for wood, operated in severe conditions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources. 2011. № 2 (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-dolgovechnosti-zaschitnyh-sredstv-dlya-drevesiny-ekspluatiruemoy-v-tyazhelyh-usloviyah (accessed 26.02.2021).

6. Karpushchenko N. I., Velichko D. V., Bobovnikova N. A. The influence of the gauge and the state of the running parts of the rolling stock on the intensity of wear. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. Journal of science, practice, economy], 2010, no. 3 (28) (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-shiriny-kolei-i-sostoyaniya-hodovyh-chastey-podvizhnogo-sostava-na-intensivnost-iznosov (accessed 24.02.2021).

7. Kiselev A. A. [et al.]. Influence of geometric parameters of railway track on the value of equivalent conicity of wheel pair. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of St. Petersburg University of Railway Transport], 2019, no. 2 (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geometricheskih-parametrov-zheleznodorozhnogo-puti-na-velichinu-ekvivalentnoy-konichnosti-kolesnoy-pary (accessed 24.02.2021).

8. Matvetsov V. I. [et al.]. Features of measurement and maintenance of the rail track on reinforced concrete sleepers. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport. Science and progress of transport], 2007, no. 17 (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-izmereniya-i-soderzhaniya-relsovoy-koleinazhelezobetonnyh-shpalah (accessed 24.02.2021).

9. Pronin M. V., Bogdanov V. V. Corporate efficiency of mergers and acquisitions (on the example of production of wooden sleepers). *Ekonomika i upravleniye* [Economics and Management], 2007, no. 6 (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/korporativnaya-effektivnost-sliyaniy-i-poglo-scheniy-na-primere-proizvodstva-derevyannyh-shpal (accessed 26.02.2021).

10. Structure of Belarusian railroad. *Belorusskaya zheleznaya doroga* [Belarusian railroad]. URL: https://www.rw.by/corporate/structure/ (accessed 21.01.2021).

11. STP BCh 56.388-2018. *Polozheniye o sisteme vedeniya putevogo knozyaystra Belorusskoy zheleznoy dorogi* [Regulations on the track maintenance system of the Belarusian Railway]. Minsk, Belorusskaya zheleznaya doroga Publ., 2018. 27 c. (In Russian).

12. STP BCh 09150.56.010-2005. *Tekushcheye soderzhaniye zheleznodorozhnogo puti. Tekhnisheskiye trebovaniya* [Current maintenance of railroad track. Technical requirements and organization of works]. Minsk, Belorusskaya zheleznaya doroga Publ., 2006. 283 c. (In Russian).

13. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznoy dorogi v Respublike Belarus'* [Rules of technical operation of the railroad in the Republic of Belarus]. Minsk: Ministerstvo transporta i kommunikatsiy Publ., 2016. 351 c. (In Russian).

14. Matvetsov V. I. [et al.]. Joint gaps of 25-meter rails. *Put' i putevoye khozyaystvo* [Track and track facilities]. Moscow, 2013, no. 6, pp. 20–23 (In Russian).

15. Kalenik K. L. Justification of the scheme of laying of reinforced concrete sleepers instead of unusable wooden ones. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Nauka i progress transporta* [Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport. Science and progress of transport], 2008, no. 22 (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/obosno-vanie-shemy-ukladki-zhelezobetonnyh-shpal-vmesto-neprigodnyh-derevyannyh (accessed 24.02.2021).

Информация об авторах

Невзорова Алла Брониславовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Водоснобжение, химия и экология». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: anevzorova@bsut.by

Романенко Виктория Владимировна – старший преподаватель кафедры «Проектирование, строительство и эксплуатация транспортных объектов». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: vromanenkko@mail.ru

Information about the authors

Neuzorava Alla Bronislavovna – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Water Supply, Chemistry and Ecology. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: anevzorova@bsut.by

Romanenko Viktoriya Vladimirovna – Senior Lecturer of the Department of Design, construction and operation of transport facilities. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: vromanenkko@mail.ru

Поступила 20.03.2021

УДК 685.363

А. В. Полховский, С. А. Прохорчик, С. В. Шетько, Е. В. Ручкина
Белорусский государственный технологический университет

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОБЛЕГЧЕННЫХ СПОРТИВНО-БЕГОВЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ЛЫЖ

Статья посвящена анализу результатов разработки конструкции и изготовления облегченных спортивно-беговых пластиковых лыж. Приведены наиболее часто применяемые при изготовлении облегченных лыж материалы. К ним относятся материалы на основе сотового заполнителя и вспененные материалы (полиуретан). Описаны клинья экспериментальных образцов облегченных спортивно-беговых пластиковых лыж, которые были изготовлены в филиале «Телеханы» государственного предприятия «Беларусьторг», а именно клинья из материала на основе сотового заполнителя (в качестве сотового заполнителя был использован склеенный пакет из пяти листов пятислойного гофрокартона), клин из вспененных материалов (пенополиуретан), клин из модельного материала, полученный методом 3D-печати, и клин из древесины низкой плотности.

Полученные экспериментальные образцы облегченных лыж были подвергнуты испытаниям по определению основных эксплуатационных показателей качества, а именно массы, величины стрелы прогиба, жесткости средней части, индекса жесткости по Фишеру, высоты и длины остаточного прогиба, разрушающей нагрузки, показателя усталости при циклическом нагружении, жесткости передней и задней части.

На основании проведенных испытаний определены наиболее перспективные материалы для изготовления среднего клина облегченных спортивно-беговых пластиковых лыж. Лучшие результаты при испытаниях были выявлены у древесины низкой плотности.

Ключевые слова: лыжи, гофрокартон, пенополиуретан, 3D-печать, масса, жесткость, прочность.

Для цитирования: Полховский А. В., Прохорчик С. А., Шетько С. В., Ручкина Е. В. Разработка конструкции облегченных спортивно-беговых пластиковых лыж // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 250–259.

A. V. Polkhovsky, S. A. Prokhorchik, S. V. Shet’ko, E. V. Ruchkina
Belarusian State Technological University

DESIGN DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT SPORTS AND RUNNING PLASTICK SKI

The article is devoted to the analysis of the results of work on the design and manufacture of lightweight sports and cross-country plastic skis. The article lists the materials most often used in the manufacture of lightweight skis. These include honeycomb-based materials and foams (polyurethane). The wedges of experimental samples of lightweight sports and cross-country plastic skis, which were manufactured by the Telekhany branch of the state enterprise Belarustorg, are described, namely, wedges made of a material based on honeycomb filler (A glued package of five sheets of five-layer corrugated board was used as a honeycomb core), a wedge made of foam materials (polyurethane foam), 3D printed model wedge and low density wood wedge.

The obtained experimental samples of lightweight skis were tested to determine the main performance indicators of quality, namely, mass, deflection, stiffness of the middle section, Fischer stiffness index, height and length of residual deflection, breaking load, fatigue index under cyclic loading, stiffness front and back.

Based on the tests carried out, the most promising materials for the manufacture of the middle wedge of lightweight sports and cross-country plastic skis were determined. The best test results were found in low density wood. The article is devoted to the analysis of the results of work on the design and manufacture of lightweight sports and cross-country plastic skis.

Key words: skis, corrugated board, polyurethane foam, 3D printing, weight, stiffness, strength.

For citation: Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A., Shet’ko S. V., Ruchkina E. V. Design development of lightweight sports and running plastick ski. *Proceessings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 250–259 (In Russian).

Введение. В современных конструкциях лыж применяются различные сочетания материалов (многие виды пластика, древесины, композитных материалов, сплавов). Все производимые лыжи имеют общие элементы в конструкции, такие как скользящий слой, армирующий слой, склеивающий слой, верхний (декоративный) слой, средний клин. Одним из главных требований, предъявляемых к лыжам, является величина их массы. При прочих равных условиях основное влияние на массу оказывает средний клин. Именно различия в материалах и конструкциях среднего клина оказывают существенное влияние на эксплуатационные показатели качества спортивно-беговых пластиковых лыж.

Лыжи используют как любители, так и профессионалы. Лыжи для начинающих обладают доступной ценой, низким уровнем жесткости и более высокой массой, что обусловлено применением в их конструкции более дешевых материалов. К лыжам для профессиональных спортсменов предъявляются более высокие требования, применяются самые современные инновационные материалы и технологии, в связи с чем стоимость лыж для спортсменов очень высокая. В связи с чем разработка подобных лыж является актуальной задачей.

Объектом исследования являются лыжи, предметом – материалы, используемые в изготовлении среднего клина облегченных лыж, эксплуатационные показатели качества.

Целью данной работы является подбор материалов для изготовления среднего клина с целью снижения массы до значения, не превышающего 550 г и повышения эксплуатационных физико-механических показателей.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведен анализ материалов, применяемых для изготовления среднего клина облегченных лыж, на основании анализа выбрано несколько материалов, из выбранных материалов изготовлены экспериментальные образцы лыж, полученные образцы лыж подвергнуты испытаниям по определению эксплуатационных показателей качества.

Основная часть. Для исследований было рассмотрено несколько вариантов материалов и конструкций клиньев, применяемых при изготовлении облегченных спортивно-беговых лыж. А именно, клин из материалов на основе сотового заполнителя, из вспененных материалов, из модельного материала, полученный методом 3d-печати, и клин из древесины низкой плотности. Далее рассмотрим более подробно вышеперечисленные материалы.

Средний клин из материалов на основе сотового заполнителя. Сотовая структура представляет собой тип ячеистых материалов с регулярными и периодически повторяющимися наборами ячеек различной формы, образованных между тонкими вертикальными стенками. Ячейки в основном имеют шестиугольную форму или расположены в виде столбцов. Для изготовления сот могут применятся различные виды материалов (алюминий, нержавеющая сталь, арамид, кевлар, термопластик, картон). Жесткость сотовых конструкций позволяет использовать меньше материала и снизить массу. Жесткость увеличивается экспоненциально по сравнению с однослойным материалом. Использование сотовых клиньев создает резкое увеличение жесткости при очень небольшом увеличении массы лыжи [1, 2, 3].

Алюминиевые соты – инновационный материал, разработанный в 20-м веке, для облегчения конструкций с сохранением необходимых характеристик. Преимущество алюминиевых сот – небольшая масса, наилучшая устойчивость к сжатию и растяжению, пажаростойкость, коррозионная стойкость и многое другое. Толщина слоя алюминия составляет от 3 до 300 мкм, диаметр отверстия – от 6 до 19 мм, плотность ячеистых сот (в зависимости от толщины фольги и диаметра ячейки) – от 19 кг/м³ до 84 кг/м³ [4].

Применение в конструкции лыж алюминиевых сот было произведено еще в 80-х гг. на Таллинской экспериментальной лыжной фабрике «Динамо», прочность которых оказалась в пять раз выше, чем у сотопласта. У таких лыж не требуется упрочнять древесиной боковые поверхности, что позволяет выпускать более легкие лыжи (масса лыж длиной 205 см составила 450 г). Испытания показали, что физико-механические показатели лыж, изготовленных с применением алюминиевых сот, выше, чем у лыж из сотопласта [5].

Арамидные соты Nomex. Являются чрезвычайно легким, высокопрочным, неметаллическим продуктом, изготовленным из арамидного волокна, пропитанного фенольной термостойкой смолой. Арамид – химическое волокно, отличающееся высокими показаниями прочности, стойкостью к высоким температурам и упругостью. Также имеет повышенную стойкость к воздействию различных химических реагентов. Используется как добавка в композитные материалы и в производстве высокопрочных тканей. Название «арамид» волокна получили от английской аббревиатуры слов «ароматический полиамид». Высокая прочность материала обеспечивается тем, что молекулы этого вещества имеют одинаковую направленность. Современный рынок предлагает три основных типа арамидных волокон: пара-арамиды (тварон, кевлар, СВМ, терлон); мета-арамиды (номекс, арселон); сополимеры арамидов (кермель) [6, 7, 8].

Термопластик. Ячеистые клинья из термопластика легкие и легко поддаются переработке. Основным недостатком является сложность создания прочной связи между сотами и облицовкой. Они бывают нескольких типов:

– *ABS*, использование которого предполагает жесткую структуру, ударную вязкость, твердость поверхности, ударопрочность и размерную стабильность;

– *поликарбонат* обеспечивает устойчивость к ультрафиолетовому излучению, хорошее светопропускание, высокую термостойкость и самозатухающие свойства;

– *полипропилен* обеспечивает исключительную химическую стойкость.

Гофрокартон представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из внутреннего слоя бумаги «флютинга», сформированного на гофроагрегате так, что бумаге придается волнистая форма, и из одного или нескольких плоских слоев картона, называемого «лайнером», приклеенных к вершинам гофров. Гофрокартон отличается от других видов картона малым весом, дешевизной и высокими физическими параметрами.

При приложении сил в направлении, перпендикулярном гофрам, гофрокартон работает как амортизирующий материал за счет малой жесткости в этом направлении волнистого слоя. При приложении сил вдоль направления гофров гофрокартон проявляет высокую плоскостную и торцевую жесткость благодаря большой жесткости в этом направлении волнистого слоя [9].

Плоские слои гофрированного картона фиксируют положение волнистых слоев, поэтому воспринимают сжимающие, растягивающие и продавливающие нагрузки [9].

Гофрокартон изготавливается из целлюлозного и макулатурного сырья, что позволяет получить различные марки по степени прочности, нагрузочным характеристикам. В зависимости от числа слоев гофрированный картон изготавливают следующих типов [10, 11, 12]:

– Д (двухслойный), состоящий из одного плоского и одного гофрированного слоев;

– Т (трехслойный), состоящий из двух плоских и одного гофрированного слоев;

– П (пятислойный), состоящий из трех плоских (двух наружных и одного внутреннего) и двух гофрированных слоев;

– С (семислойный), состоящий из четырех плоских (двух наружных и двух внутренних) и трех гофрированных слоев.

После изучения различных видов сотовых материалов, в качестве их замены был выбран гофрокартон, который сочетает в себе такие показатели, как низкая стоимость, доступность, высокие физические параметры. Для изготовления клиньев лыж был использован пятислойный гофрокартон. Для упрочнения клиньев применялись боковые поверхности из четырехмиллиметровой березовой фанеры.

Технология изготовления клина из гофрокартона заключалась в следующем: листы картона раскраивались на заготовки необходимой конфигурации, эти заготовки склеивались между собой для получения пакета нужной толщины, далее к обеим его пластям приклеивались листы фанеры, затем из полученного пакета вырезались клинья.

Конструкция клина из гофрокартона приведена на рис. 1.

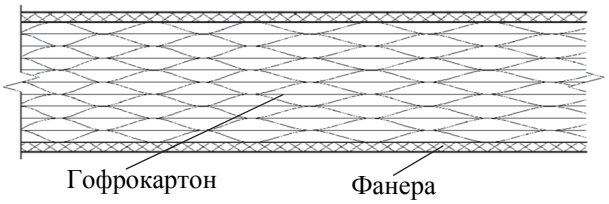


Рис. 1. Структура среднего клина из гофрокартона

Средний клин из вспененных материалов. В качестве вспененного материала при изготовлении среднего клина использовался пенополиуретан – это синтетическое вещество ячеистой структуры из группы газонаполненных пластмасс. По сути, пенополиуретан можно охарактеризовать как разновидность пластмассы.

Основным сырьем, используемым для получения пенополиуретана, являются ди- и триизоцианаты и полиолы. Другие технологические добавки вводятся для изменения свойств полимера.

Свойства пенополиуретана можно классифицировать на основе структуры пены. Пена имеет два типа структуры [13]: с открытыми порами и закрытыми порами.

Пена с открытыми порами такая же мягкая, как подушка. Ячейки стенок или поверхности пузырьков разрушаются и наполняются воздухом, который заполняет все пространства в материале. Это делает пену мягкой или слабой, и по ощущениям она напоминает мягкую игрушечную резиновую грушу. Изоляционный показатель этой пены связан с показателем изоляции воздуха внутри матрицы разрушенных ячеек. Плотность пенопласта с открытыми порами составляет около 8–12 кг/м^3 [13].

Плотность пены с закрытыми порами зависит от твердости. Нормальный, с закрытыми порами, или флотационный, полиуретан имеет плотность где-то между 32 и 48 кг/м^3. Он достаточно силен, чтобы противостоять серьезным искажениям. Большинство ячеек или пузырьков в пене не разбиты, и они напоминают футбольные

мячи, которые сложены вместе в компактную конфигурацию. Это делает пену прочной или жесткой, потому что пузырьки достаточно стабильны, чтобы выдерживать большое давление, например надутые шины, которые выдерживают вес автомобиля. Ячейки заполнены специальным газом, отобранным для того, чтобы сделать показатель изоляции пены как можно выше [13].

Преимущества пенополиуретанов с закрытыми порами по сравнению с пенополиуретанами с открытыми порами состоят в том, что они имеют более высокую прочность и большую устойчивость к утечке воздуха или водяного пара. Недостаток пенопластов с закрытыми порами состоит в том, что из-за более высокой плотности их потребность в материале больше, и они не экономичны.

Поэтому для изготовления клиньев была использована пена с закрытыми порами. Технология изготовления клиньев из пенополиуретана заключается в заливке пены в форму. Для придания клину дополнительной прочности в конструкции клина были использованы боковые поверхности из древесины осины.

Конструкция клина из пенополиуретана приведена на рис. 2

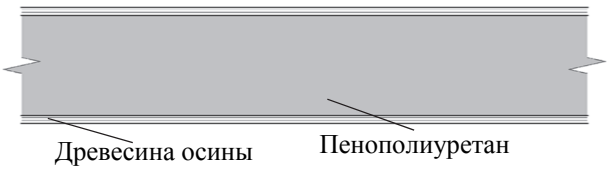


Рис. 2. Структура среднего клина из пенополиуретана

Средний клин, полученный методом 3d-печати. Принцип построения среднего клина заключается в послойном выращивании изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити. 3D-модель клина в формате STL передается в программное обеспечение 3D-принтера. Программа автоматически (или оператор вручную) располагает модель в виртуальном пространстве рабочей камеры. Затем программа автоматически генерирует элементы вспомогательных конструкций (из специального материала поддержки) и проводит расчет количества расходных материалов, а также времени выращивания прототипа. Перед запуском процесса печати модель автоматически разделяется на горизонтальные слои и производится расчет путей перемещения печатающей головки.

Затем запускается процесс непосредственной 3D-печати: нагревающая головка с фильерами (экструдер) расплавляет тонкую пластиковую нить (леску) и послойно укладывает ее согласно данным математической 3D-модели.

После завершения процесса построения изделия вспомогательные конструкции удаляются (вручную или растворяются в специальном растворе). Готовое изделие может быть использовано в напечатанном виде или подвергнуто любому способу пост-обработки.

Средний клин из древесины низкой плотности (около 150 кг/м^3). Технология изготовления клина из древесины низкой плотности аналогична технологии изготовления спортивно-беговых пластиковых лыж с клином из древесины осины, которая применяется в филиале «Телеханы» государственного предприятия «Беларусьторг» (калибровка заготовок; оптимизация заготовок; сращивание заготовок по длине; формирование поперечного сечения; склеивание заготовок по ширине; раскрой заготовок вдоль; создание базовой поверхности; торцовка заготовок; фрезерование по профилю, придание клину окончательной формы).

Таким образом, в условиях филиала «Телеханы» была изготовлена экспериментальная партия лыж с клиньями из гофрокартона, пенополиуретана, древесины низкой плотности и модельного материала методом 3D-печати.

Результаты определения массы, положения центра тяжести и стрелы прогиба приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения массы, положения центра тяжести и стрелы прогиба

Материал среднего клина и характер армирования	Длина лыжи / высота колодки, мм	№ образца	Масса, г	Положение центра тяжести, мм	Стрела прогиба, мм
Гофрокартон (4 слоя СВ*)	1900/21,5	1.1	687	901	27,8
		1.2	685	901	28,5
Гофрокартон (2 слоя СВ*)		1.3	581	904	30
		1.4	580	904	29,5

Окончание табл. 1

Материал среднего клина и характер армирования	Длина лыжи / высота колодки, мм	№ образца	Масса, г	Положение центра тяжести, мм	Стрела прогиба, мм
Гофрокартон (2 слоя СВ*)	1950/29,5	2.1	704	945	29,4
		2.2	704	945	30,5
Гофрокартон (4 слоя СВ*)		2.3	817	944	25,9
		2.4	803	942	26,9
Пенополиуретан (2 слоя СВ*)	1900/21,5	3.1	**506**	912	31,1
		3.2	**510**	912	31,5
Пенополиуретан (4 слоя СВ*)		3.3	631	911	34
		3.4	627	911	33,1
Пенополиуретан (4 слоя СВ*)	1950/29,5	4.1	720	944	26,7
		4.2	713	955	24,2
Пенополиуретан (2 слоя СВ*)		4.3	590	955	31,5
		4.4	596	952	26,6
3d печать (2 слоя УВ*)	1900/21,5	5.1	672	907	35,4
		5.2	675	910	27,9
Древесина низкой плотности (2 слоя СВ*, 2 УВ*)	1900/21,5	6.1	601	911	28,6
		6.2	604	910	29,1
Древесина низкой плотности (4 слоя СВ*)		6.3	597	910	30
		6.4	595	910	29,5
Древесина низкой плотности (2 слоя СВ*, 2 УВ*)		**6.5**	**548**	**910**	**27,6**
		6.6	**545**	**910**	**27,1**
Древесина низкой плотности (4 слоя СВ*)	1950/29,5	7.1	777	952	25,8
		7.2	780	950	26,2
Древесина низкой плотности (2 слоя УВ*, 2 слоя СВ*)		7.3	762	945	25,4
		7.4	760	945	25,8
Древесина низкой плотности (2 слоя УВ*, 2 слоя СВ*)		7.5	680	952	26,4
		7.6	675	953	26,9
Норма					Не более 30 мм

* СВ – стекловолокно, УВ – углеродное волокно.

Испытания проводились нами согласно ГОСТ 30045–93 [14] и разработанной на его основе методике (Лыжа спортивно-беговая. Методики оценки основных эксплуатационных показателей. 01.12.00.000 ПМ1, утверждена 22.07.2019). Определены следующе показатели: масса, стрела прогиба, жесткость средней части, индекс жесткости по Фишеру, длина и высота остаточного прогиба при приложении нормативной нагрузки, разрушающая нагрузка, показатель усталости, жесткость носка и пятки.

Результаты определения длины и высоты остаточного прогиба, жесткости средней части, индекса жесткости по Фишеру приведены в табл. 2, а результаты определения жесткости передней и задней части лыжи приведены в табл. 3.

Таблица 2

Результаты определения длины и высоты остаточного прогиба, жесткости средней части, индекса жесткости по Фишеру

Материал среднего клина	Длина лыжи / высота колодки, мм	Номер образца	Жесткость средней части, Н/мм	Индекс жесткости по FA (остаточный прогиб 0,2 мм), Н	Нормативная нагрузка	Остаточная длина, мм	Остаточный прогиб, мм
Гофрокартон (4 слоя СВ*)	1900/21,5	1.1	98,3	310	294	480	0,3
		1.2	95,7	310	294	475	0,3
Гофрокартон (2 слоя СВ*)		1.3	64,8	210	294	–*	–*
		1.4	65,6	215	294	–*	–*
Гофрокартон (2 слоя СВ*)	1950/29,5	2.1	140,5	270	319	–*	–*
		2.2	138,2	310	319	–*	–*
Гофрокартон (4 слоя СВ*)		2.3	195,7	420	319	660	0,9
		2.4	191,7	425	319	530	0,6
Пенополиуретан (2 слоя СВ*)	1900/21,5	3.1	61,2	170	294	–*	–*
		3.2	62,3	175	294	–*	–*
Пенополиуретан (4 слоя СВ*)		3.3	88,1	250	294	–*	–*
		3.4	86,2	245	294	–*	–*
Пенополиуретан (4 слоя СВ*)	1950/29,5	4.1	141,5	320	319	520	0,2
		4.2	194,3	420	319	640	0,95
Пенополиуретан (2 слоя СВ*)		4.3	128,8	370	319	560	0,46
		4.4	144,4	310	319	–*	–*
3d печать (2 слоя УВ*)	1900/21,5	5.1	62,7	210	294	–*	–*
		5.2	61,4	190	294	–*	–*
Древесина низкой плотности (2 слоя СВ*, 2 УВ*)	1900/21,5	6.1	123,2	420	294	495	0,8
		6.2	122,1	423	294	490	0,85
Древесина низкой плотности (4 слоя СВ*)		6.3	89	305	294	480	0,3
		6.4	94,2	310	294	480	0,4
Древесина низкой плотности (2 слоя СВ*, 2 УВ*)		**6.5**	**124,2**	**415**	**294**	**490**	**0,9**
		6.6	**123,9**	**418**	**294**	**490**	**0,8**
Древесина низкой плотности (4 слоя СВ*)	1950/29,5	7.1	223,1	470	319	730	1,1
		7.2	228,3	475	319	725	1,1
Древесина низкой плотности (2 слоя УВ*, 2 слоя СВ*)		7.3	267,5	630	319	795	1,7
		7.4	261,4	620	319	790	1,7
Древесина низкой плотности (2 слоя УВ*, 2 слоя СВ*)		7.5	211,3	560	319	610	1,35
		7.6	210,1	570	319	610	1,4
Норма			–	Не менее 50	–	350–550 мм	0,6–1,7 мм

* Индекс жесткости по Фишеру меньше нормативной нагрузки.

Таблица 3

Результаты определения жесткости передней и задней части лыжи

Материал среднего клина и характер армирования	Длина лыжи / высота колодки, мм	Номер образца	Испытание на жесткость передней части лыжи		Испытание на жесткость задней части лыжи	
			Нагрузка при прогибе 30 мм, Н	Жесткость передней части, Н/мм	Нагрузка при прогибе 30 мм, Н	Жесткость задней части, Н/мм
Гофрокартон (4 слоя СВ*)	1900/21,5	1.1	61	2,03	41	1,37
		1.2	60	2,00	43	1,43
Гофрокартон (2 слоя СВ*)		1.3	44	1,47	32	1,07
		1.4	42	1,40	33	1,10
Гофрокартон (2 слоя СВ*)	1950/29,5	2.1	67	2,23	34	1,13
		2.2	63	2,1	29	0,97
Гофрокартон (4 слоя СВ*)		2.3	86	2,87	33	1,1
		2.4	79	2,63	33	1,1
Пенополиуретан (2 слоя СВ*)	1900/21,5	3.1	38	1,27	28	0,93
		3.2	41	1,37	30	1,00
Пенополиуретан (4 слоя СВ)		3.3	62	2,07	50	1,67
		3.4	59	1,97	52	1,73
Пенополиуретан (4 слоя СВ*)	1950/29,5	4.1	53	1,77	35	1,17
		4.2	74	2,47	33	1,1
Пенополиуретан (2 слоя СВ*)		4.3	49	1,63	28	0,93
		4.4	58	1,93	34	1,13
3d печать (2 слоя УВ*)	1900/21,5	5.1	46	1,53	42	1,4
		5.2	51	1,7	42	1,4
Древесина низкой плотности (2 слоя СВ*, 2 УВ*)	1900/21,5	6.1	59	1,97	51	1,7
		6.2	62	2,07	53	1,76
Древесина низкой плотности (4 слоя СВ*)		6.3	60	2	52	1,73
		6.4	61	2,03	51	1,70
Древесина низкой плотности (2 слоя СВ*, 2 УВ*)		**6.5**	**59**	**1,97**	**52**	**1,73**
		6.6	**58**	**1,93**	**55**	**1,83**
Древесина низкой плотности (4 слоя СВ)	1950/29,5	7.1	75	2,5	26	0,87
		7.2	71	2,37	30	1,00
Древесина низкой плотности (2 слоя УВ*, 2 слоя СВ*)		7.3	84	2,8	32	1,07
		7.4	80	2,67	35	1,17
Древесина низкой плотности (2 слоя УВ*, 2 слоя СВ*)		7.5	62	2,07	32	1,07
		7.6	61	2,03	31	1,03
Норма			40–60	1,33–2,00	50–80	1,66–2,66

* СВ – стекловолокно, УВ – углеродное волокно.

Жесткость передней части лыж у ряда исследованных образцов была завышена, но исходя из опыта эксплуатации лыж спортсменами, можно сделать вывод, что она может быть больше, чем прописано в стандарте. Значение показателя жесткости в задней части лыжи в большинстве случаев получилось меньше нормативных значений, исправить ситуацию можно введением дополнительного слоя армирования в задней части лыжи.

Таблица 4

Результаты определения разрушающей нагрузки

Материал	Длина лыжи / высота колодки, мм	Номер образца	Разрушающая нагрузка, Н
Гофрокартон	1900/21,5	1.1	**2416**
Гофрокартон	1950/29,5	2.3	**3075**
Пенополиуретан	1950/29,5	4.1	1314
Древесина низкой плотности	1900/21,5	6.5	**2458**
		Норма	Не менее 2354 Н

Анализ полученных в результате испытаний данных по определению эксплуатационных показателей качества лыж дал возможность определить, что наилучшие показатели были у лыж с клиньями из древесины низкой плотности, в частности, удалось достигнуть показателей массы ниже 550 г у образцов 6.5 и 6.6.

В результате анализа полученных значений эксплуатационных показателей было отобрано несколько образцов для испытаний по определению разрушающей нагрузки. Результаты проведенных испытаний были представлены в табл. 4. Из табл. 4 видно, что нормативным показателям удовлетворяют лыжи с клиньями из древесины низкой плотности и гофрокартона соответствуют нормативному значению.

Таким образом, для испытаний по определению показателя усталости при циклическом нагружении был отобран образец из древесины низкой плотности с колодкой 29,5 мм, показатель усталости которого составил 6,7% (при норме не более 60%), выдержав 50 000 циклов нагружения.

Заключение. В результате работы был проведен анализ материалов, применяемых в современных конструкциях лыж, с целью снижения показателя их массы. На основании этого анализа были подобраны материалы для практической апробации. А именно пенополиуретан, гофрокартон, материал модельный для 3d-печати, древесина низкой плотности. В производственных условиях были изготовлены лыжи, которые далее были испытаны. В результате исследований установлено, что наиболее преспективным материалом для клина является древесина низкой плотности, так как масса лыжи, изготовленной на ее основе, помимо достижения необходимых эксплуатационных показателей, составляет менее 550 г, что позволит снизить массу пары лыж до 1100 г. Помимо этого, применение данного материала не требуют закупки нового оборудования, технологический процесс практически полностью идентичен тому, который реализован в филиале «Телеханы» государственного предприятия «Беларусьторг».

Также перспективным является гофрокартон. Клинья, изготовленные на его основе, имеют высокие показатели прочности, сопротивления разрушающей нагрузке, но использование фанеры в качестве боковых поверхностей клиньев нецелесообразно, так как из-за перпендикулярно расположенных слоев шпона фанера плохо поддается воздействию изгибающих нагрузок, которые испытывает лыжа во время склеивания, что приводит к растрескиванию боковых поверхностей.

Таким образом, конструкция облегченных лыж будет отличаться от конструкции обычных лыж для массового потребителя только применяемыми материалами (древесина низкой плотности для среднего клина, углеродное волокно для армирующего слоя) и состоять из скользящего, армирующего, склеивающего, верхнего декоративного слоев и среднего клина.

Список литературы

1. StudFiles / Сотовые заполнители. URL: https://studfile.net/preview/8869591/page:28/ (дата обращения: 12.03.2021).

2. oDveryah.ru / Что такое сотовый наполнитель URL: https://odveryah.ru/montazh/sotovyj-napolnitel-dlya-dverej (дата обращения: 12.03.2021).

3. Гиясов Б. И., Серегин Н. Г., Серегин Д. Н. Трёхслойные панели из полимерных композиционных материалов: учеб. пособие. М.: Изд-во АСВ, 2015. 64 с.

4. Carbon Studio / Алюминиевые и термопластиковые соты, слоистые материалы, многослойные панели. URL: https://tech.carbonstudio.ru/product/sfera-struktur/alyuminievye-soty (дата обращения: 13.03.2021).

5. Механическая обработка древесины. Перспективы развития производства лыж в стране: обзор информации по материалам Всесоюзного научно-технического совещания. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1985. 52 с.

6. Арамидная ткань / Описание состава, свойств, сфера применения. URL: https://mattrasik.ru/protkani/iskusstvennye/aramidnaya-tkan-opisanie-sostava-svojstv-sfer-primeneniya/ (дата обращения: 18.03.2021).

7. Арамидное волокно / Арамидное волокно и арамидопластики. URL: https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/339288/mod_resource/content/1/1.pdf (дата обращения: 18.03.2021).

8. Carbon Studio / Арамидные соты для авиации nomex. URL: https://carbonstudio.ru/item/aviacionnye-sort-nomex (дата обращения: 18.03.2021).

9. КОНТУР ПАК / Гофрированный картон – виды и применение. URL: https://www.korobok.ru/katalog_fefco/stati/gofrirovannyj_karton_vidy_i_primenenie/ (дата обращения: 19.03.2021).

10. ГофроЛайн / Характеристики гофрокартона, классификации, типы гофрокартона. URL: https://www.gofroline.ru/poleznoe/harakteristiki-gofrokartona.html (дата обращения: 19.03.2021).

11. PackPro / Всё о гофрокартоне: характеристика, виды, классы. URL: https://packpro.by/info/articles/vsye-o-gofrokartone/ (дата обращения: 19.03.2021).

12. Антек / Гофрокартон (гофрированный картон). Статья. URL: https://www.antech.ru/wiki/stati/gofrokarton/ (дата обращения: 19.03.2021).

13. Harris J. C., Rumack B. H., Aldrich F. D. Toxicology of urea formaldehyde and polyurethane foam insulation. J Am Med Assoc 1981; 245 (3).

14. Лыжи спортивно-беговые. Методы испытаний: ГОСТ 30045–93. Введ. 01.01.1995. М.: Изд-во стандартов, 1994. 15 с.

References

1. *StudFiles. Sotovyye zapolniteli* [StudFiles. Honeycomb placeholders]. Available at: https://studfile.net/preview/8869591/page:28/ (accessed 12.03.2020).

2. *Chto takoye sotovyy napolnitel'* [What is honeycomb filler]. Available at: https://odveryah.ru/montazh/sotovyj-napolnitel-dlya-dverej (accessed 12.03.2020).

3. Giyasov B. I., Seregin N. G., Seregin D. N. *Trekhsloynyye paneli iz polimernykh kompozitsionnykh materialov: uchebnoye posobiye* [Three-layer panels made of polymer composite materials: a tutorial]. Moscow: ASV Publ., 2015. 64 p.

4. *Alyuminiyevye i termoplastikovyye soty, sloistyye materialy, mnogoslojynyye paneli* [CarbonStudio. Aluminum and thermoplastic honeycombs, laminates, sandwich panels]. Available at: https://tech.carbonstudio.ru/product/sfera-struktur/alyuminievye-soty (accessed 13.03.2020).

5. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny. Perspektivy razvitiya proizvodstva lyzh v strane: obzor informatsii po materialam Vsesoyuznogo nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya* [Overview of information on the materials of the All-Union Scientific and Technical Meeting]. Moscow, 1985. 52 p. (In Russian).

6. *Aramidnaya tkan'. Opisaniye sostava, svoystv, sfera primeneniya* [Aramid fabric. Description of the composition, properties, scope]. Available at: https://mattrasik.ru/pro-tkani/iskusstvennye/aramidnaya-tkan-opisanie-sostava-svojstv-sfer-primeneniya/ (accessed 18.03.2020).

7. *Aramidnoye volokno i aramidoplastiki* [Aramid fiber and aramidoplastics]. Available at: https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/339288/mod_resource/content/1/1.pdf (accessed 18.03.2020)

8. *Aramidnyye soty dlya aviatsii nomex* [Aramid honeycomb for aviation nomex]. Available at: https://carbonstudio.ru/item/aviacionnye-sort-nomex (accessed 18.03.2020).

9. *Gofrirovannyy karton – vidy i primeneniye* [Corrugated cardboard – types and applications]. Available at: https://www.korobok.ru/katalog_fefco/stati/gofrirovannyj_karton_vidy_i_primenenie/ (accessed 19.03.2020).

10. *Kharakteristiki gofrokartona, klassifikatsii, tipy gofrokartona* [Corrugated board characteristics, classifications, types of corrugated board]. Available at: https://www.gofroline.ru/poleznoe/harakteristiki-gofrokartona.html (accessed 19.03.2020).

11. *Vse o gofrokartone: kharakteristika, vidy, klassy* [Everything about corrugated board: characteristics, types, classes]. Available at: https://packpro.by/info/articles/vsye-o-gofrokartone/ (accessed 19.03.2020).

12. *Gofrokarton (gofrirovannyy karton)* [Corrugated cardboard (corrugated cardboard)]. Available at: https://www.antech.ru/wiki/stati/gofrokarton/ (accessed 19.03.2020).

13. Harris J. C., Rumack B. H., Aldrich F. D. Toxicology of urea formaldehyde and polyurethane foam insulation. J Am Med Assoc 1981; 245 (3).

14. GOST 30045–93. *Lyzhi sportivno-begovyye. Metody ispytaniy* [Cross-country skiing. Test methods]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1994. 15 p. (In Russian).

Информация об авторах

Полховский Антон Викторович – магистр технических наук, аспирант кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antopolx1@mail.ru

Прохорчик Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета заочного образования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: prohor@tut.by

Шетько Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shs@belstu.by

Ручкина Елена Васильевна – ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Information about of authors

Polkhovsky Anton Viktorovich – Master of Engineering, PhD student, the Department of Technology and Design of Wood Products. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antopolx1@mail.ru

Prokhorchik Sergey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Dean of the Faculty of Distance Education. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohor@tut.by

Shet'ko Sergey Vasil'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Vice-rector for Research. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shs@belstu.by

Ruchkina Elena Vasil'yevna – Assistant, the Department of Technology and Design of wood Products. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus).

Поступила 20.03.2021

УДК 674.048.5

Л. В. Игнатович[1], В. В. Тулейко[2], А. С. Чуйков[1], С. С. Утгоф[1]
[1]Белорусский государственный технологический университет
[2]ОАО «Речицадрев»

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Древесина мягких лиственных пород (березы, ольхи, осины и т. п.) имеет ряд недостатков, ограничивающих ее применение в покрытиях полов. Она легко растрескивается при высыхании, имеет невысокие показатели прочности, твердости и износостойкости. Для устранения этих недостатков применяется защитная обработка древесины – модифицирование синтетическими полимерами. Модифицированная древесина мягких лиственных пород может эффективно эксплуатироваться в покрытиях полов не только жилых, но и административных зданий и сооружений благодаря повышенной стабильности геометрических размеров, твердости и износостойкости.

При выборе того или иного способа модификации древесины для определенного назначения часто возникает ситуация, когда одни свойства рассматриваемого материала имеют более низкие значения, а другие – более высокие. При проведении исследований термохимического модифицирования древесины мягких лиственных пород с целью получения максимального обобщенного критерия оценки качества физико-механических свойств установлены оптимальное содержание компонентов карбамидоформальдегидной пропиточной смолы КФС-140 и параметры процесса пропитки, при которых комплексы физико-механических свойств модифицированной древесины имеют максимальные значения. В статье рассмотрен метод обобщенного критерия для оценки качества модифицированной древесины на основе оптимизации технологических параметров (состав пропиточной смолы и процесс пропитки), позволяющий разработать оптимальный состав и технологические параметры получения материала, обладающего комплексом требуемых физико-механических свойств.

Ключевые слова: смола, древесина, свойства, модифицирование, оценка качества, обобщенный критерий.

Для цитирования: Игнатович Л. В., Тулейко В. В., Чуйков А. С., Утгоф С. С. Оптимизация технологических параметров термохимического модифицирования древесины мягких лиственных пород с целью получения максимального обобщенного критерия оценки качества физико-механических свойств // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 260–267.

L. V. Ignatovich[1], V. V. Tuleyko[2], A. S. Chuikov[1], S. S. Utgof[1]
[1]Belarusian State Technological University
[2]JSC “Rechitsadrev”

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS THERMO-CHEMICAL MODIFICATION OF SOFT DECIDUOUS WOOD ROCKS IN ORDER TO OBTAIN THE MAXIMUM GENERALIZED CRITERION FOR ASSESSING THE QUALITY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

Soft deciduous wood - birch, alder, aspen, etc. has a number of disadvantages that limit its use in floor coverings. It cracks easily when dried, has low strength, hardness and wear resistance. To eliminate these disadvantages, a protective wood treatment is used - modification with synthetic polymers. Modified softwood can effectively work in floor coverings of not only residential, but also office buildings and structures due to increased stability of geometric dimensions, hardness and wear resistance.

When choosing one or another method of modifying wood for a specific purpose, a situation often arises when some properties of the material in question are lower, while others are higher. When carrying out studies of thermo-chemical modification of soft leaf wood in order to obtain the maximum generalized criterion for assessing the quality of physical and mechanical properties, the optimal content of the components of urea-formaldehyde impregnating resin KFS-140 and the parameters of the impregnation process, in which the complexes of physical and mechanical properties of modified wood have maximum values. The article considers the method of a generalized criterion for assessing the quality of modified

wood based on the optimization of technological parameters (the composition of the impregnating resin and the impregnation process), it is possible to develop the optimal composition and technological parameters for obtaining a material with a complex of required physical and mechanical properties.

Key words: resin, wood, properties, modification, quality assessment, generalized criterion.

For citation: Ignatovich L. V., Tuleyko V. V., Chuikov A. S., Utgof S. S. Optimization of technological parameters thermo-chemical modification of soft deciduous wood rocks in order to obtain the maximum generalized criterion for assessing the quality of physical and mechanical properties. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 260–267 (In Russian).

Введение. Изменение свойств древесины с помощью модификации открывает для изделий из нее новые области применения – такие, в которых ранее архитекторы или дизайнеры использовали только сталь, синтетические материалы или бетон. Вместо этих материалов теперь все смелее используется химически модифицированная древесина. Технологии модификации способны изменить физико-химический состав обрабатываемых материалов. В результате они приобретают новые свойства, что позволяет использовать их в помещениях с переменной влажностью и температурой. Процесс основан на взаимодействии «активного» древесного вещества и реагента обработки с образованием прочной ковалентной связи. Реакция может проходить в присутствии катализатора или без него [1].

Основная часть. Модифицированная древесина является продуктом, в котором использован проникающий мономер или низковязкий олигомер, который затем переходит в твердое состояние (полимеризуется) под действием тепла, химических реагентов или ионизирующих излучений. Обычно сочетаются физические и химические методы [2].

Термохимическое модифицирование древесины включает пропитку смолами, мономерами или олигомерами, сушку и отверждение пропиточного состава. Для пропитки используют фенолформальдегидные, полиэфирные, карбамидные, фурановые, акриловые, кремнийорганические и другие смолы, мономеры и олигомеры. Важно, чтобы пропитывающий состав обладал достаточной жизнеспособностью и имел невысокую вязкость, а также следует особо подчеркнуть, что в процессе модифицирования надо избегать применения экологически вредных веществ. Большим спросом пользуется модифицированная древесина, которая не выделяет в течение срока службы и в конце жизненного цикла вредные вещества, угрожающие здоровью человека [1–6].

Модифицирование древесины, как известно, осуществляется с целью повышения качества исходного древесного материала [6]. Свойства модифицированной древесины существенно зависят как от вида модифицирующего состава и породы, так и от технологических режимов получения древесно-полимерного материала.

При выборе того или иного вида модифицированной древесины для определенного назначения часто возникает ситуация, когда одни свойства рассматриваемого материала имеют более низкие значения, а другие свойства – более высокие значения по сравнению с другими или с иными видами модифицированной древесины. Подобная проблема встает также при сравнении свойств модифицированной древесины и других материалов (пластмассы, металлы и т. д.). По существу, возникает многокритериальная задача определения качества объектов, к которым относится и модифицированная древесина. Такая задача характеризуется набором частных критериев, она достаточна сложна и не всегда имеет решение.

Одним из наиболее известных методов анализа качества различных объектов является метод обобщенного критерия, который позволяет оценивать качество объекта по одному критерию [7, 8]. Выражение для обобщенного критерия представляет собой некоторую функцию

$$F(a_1, a_2, \ldots, a_n, y_1, y_2, \ldots, y_n), \qquad (1)$$

где $y_1, y_2, \ldots, y_n$ – отдельные частные критерии (свойства) объекта; $a_1, a_2, \ldots, a_n$ – весовые коэффициенты, учитывающие относительную влажность (ценность) частных критериев.

Значения y_i нормированы и представлены в безразмерном виде. Подобная процедура необходима, поскольку отдельные частные критерии, как правило, разнородны и несопоставимы друг с другом. Значения a_i могут быть определены по результатам экспертного опроса. Обычно эти коэффициенты нормируются:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = 1; \qquad 0 \le a_i \le 1. \qquad (2)$$

Таким образом, многокритериальная задача определения состава объекта, обладающего наилучшим качеством среди объектов рассматриваемой группы, сводиться к задаче оптимизации с единственным критерием

$$F \to \max. \qquad (3)$$

Существуют различные виды функций, используемые для описания обобщенного критерия [7, 8]. Ряд функций основывается на «жестком» («пессимистическом»), «компромиссном» или «оптимистическом» принципах оценки значений критериев. Наиболее распространен «компромиссный» принцип, который учитывает вклад каждого частного критерия в обобщенную оценку. При этом предполагается, что низкие значения одних критериев могут компенсироваться высокими значениями других. В частности, «компромиссный» принцип может быть реализован на основе средневзвешенной суммы в виде выражения (4) [7, 8]:

$$F = \sum_{a=1}^{n} a_i y_i. \qquad (4)$$

Подобный подход может быть использован и в случае одного объекта для определения его оптимальных параметров, при которых обобщенный критерий качества объекта имеет максимальное значение.

При исследовании процессов модифицирования древесины возникает необходимость найти оптимальное содержание компонентов пропиточного состава, при которых комплекс физико-механических свойств модифицированной древесины, определяемый обобщенным критерием (4), реализуется наилучшим образом, т. е. при условии (3). В ряде случаев к искомым соотношениям компонентов добавляются технологические режимные параметры, также влияющие на свойства материала.

В настоящей работе изучался процесс модифицирования древесины ольхи и березы с использованием пропиточного состава на основе карбамидоформальдегидной малотоксичной пропиточной смолы КФС-140, используемой для пропитки декоративной бумаги (производство ОАО «Речицадрев», Республика Беларусь) [9]. Основные характеристики карбамидоформальдегидной пропиточной смолы марки КФС-140 показаны в табл. 1.

Модифицированная древесина из мягких лиственных пород предназначалась для изготовления паркетных изделий [10–12]. Как описывалось выше, один из перспективных способов улучшения свойств древесины: истираемости, статической твердости, водостойкости и стабильности формы, плотности, – ее термомеханическое модифицирование, позволяющее получить новый древесно-полимерный материал [13–16]. Пропиточный состав для термохимической модификации образцов должен быть нетоксичным, экономически доступным. Компоненты состава должны легко проникать в древесину, обеспечивая повышение ее основных физико-механических свойств. Для модифицирования паркетной планки был выбран состав на основе карбамидоформальдегидной пропиточной смолы КФС-140 , применяемой в производстве облицовочной текстурной пленки. Эта смола – продукт трехстадийной поликонденсации карбамида с формальдегидом. При изготовлении этой смолы не проводится вакуумсушка, поэтому она имеет пониженное содержание сухих веществ (50 ± 2%) и низкую (12–14 с) условную вязкость по ВЗ-4 (табл. 2). Смола представляет собой однородную непрозрачную суспензию белого цвета без посторонних включений, смешиваемую с водой в соотношении 1 : 2. Проведенные эксперименты показали, что пропиточный состав на основе смолы КФС-140 и хлористого аммония в качестве отвердителя легко проникает в капиллярно-пористую структуру древесины и может успешно использоваться для модифицирования древесины мягких лиственных пород и березы. При этом по некоторым физико-механическим свойствам пропитанный материал в 1,5–4 раза лучше исходной натуральной древесины [9].

Таблица 1

Характеристики карбамидоформальдегидной пропиточной смолы КФС-140

Наименование показателя	Норма для смолы марки КФС-140
Внешний вид	Однородная прозрачная жидкость без посторонних включений
Массовая доля сухого остатка, %	50 ± 2
Массовая доля свободного формальдегида, %, не более	0,15
Условная вязкость при (20,0 ± 0,5)°С по вискозиметру ВЗ-246 (или ВЗ-4) с соплом диаметром 4 мм, с	12–14
Концентрация водородных ионов, pH	7,3–7,9
Время желатинизации при 100°С, с	25–50

Пропиточный состав включал в себя собственно смолу, отвердитель (хлористый аммоний) и стабилизатор (моноэтаноламин). Пропитку осуществляли в автоклаве методом «вакуум – избыточное давление». Постоянными технологическими параметрами являлись: остаточное давление воздуха в автоклаве при вакуумировании древесины перед пропиткой – 5 кПа, избыточное давление при пропитке – 0,8 МПа. За переменную величину принималась продолжительность пропитки под действием избыточного давления.

После пропитки осуществляли термообработку древесины по специальным режимам с целью достижения максимальной степени отверждения пропиточного состава в древесине. Качество получаемой модифицированной древесины в соответствии с ее назначением определялось по четырем физико-механическим свойствам: статической твердости, сопротивлению истиранию в радиальной плоскости, водопоглощению и линейному разбуханию в радиальной плоскости.

Задача исследований состояла в определении содержания компонентов пропиточного состава и технологического параметра – продолжительности пропитки под действием избыточного давления. Обобщенный критерий качества модифицированной древесины, определяемый выражением (4) и зависящий от значений отдельных физико-механических свойств y_i и степени их важности a_i с учетом выражения (2), при этом будет иметь максимальное значение в соответствии с условием (3).

Для решения данной задачи необходимо найти функциональную зависимость между свойствами модифицированной древесины и рассматриваемыми компонентными и технологическими параметрами. Такая зависимость может быть установлена путем использования методов планирования эксперимента. В данном случае использовалось симплекс-решетчатое планирование Шеффе [17, 18], позволяющее получить соответствующие уравнения регрессии второго порядка для свойства, зависящего от исследуемых параметров. Для i-того свойства

$$y_i = f_i(x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_k), \qquad (5)$$

где x_j – j-й параметр; k – количество параметров.

Особенностью такого планирования является нормирование исследуемых параметров, выраженных в кодированных величинах:

$$\sum_{i=1}^{k} x_j = 1; \qquad 0 \le x_j \le 1. \qquad (6)$$

Число независимых переменных при этом составляет $(k - 1)$.

На основе полученных уравнений (5) с учетом выражения (6) можно построить диаграммы состав – свойство, позволяющие выполнить анализ изучаемой зависимости.

При составлении матрицы планирования эксперимента исследуемые параметры изменяли в следующих пределах: содержание смолы в составе x_1 от 95,5 до 99,5%, содержание отвердителя x_2 от 0,5 до 1,5%, содержание стабилизатора x_3 от 0 до 4%, продолжительность пропитки под действием избыточного давления x_4 от 0,5 до 2,0 ч. Указанные максимальные и минимальные значения в кодированных величинах обозначаются 1 и 0 соответственно.

Определяемые физико-механические свойства модифицированной древесины (частные критерии) являются размерными величинами. Для их нормирования использована нормировка сравнения, при которой значение свойства определяется отношением значений данного свойства модифицированной и натуральной древесины (так называемый эффект модифицирования). При этом отношение составляется таким образом, чтобы его значение было больше 1. В этом случае улучшение свойств модифицированной древесины по сравнению с натуральной (например, увеличение статической твердости или уменьшение водопоглощения) приведет к увеличению соответствующего частного критерия (свойства), выраженного эффектом модифицирования.

В результате выполнения исследований в соответствии с матрицей планирования эксперимента и обработки данных были получены адекватные уравнения регрессии, описывающие зависимость между значениями указанных четырех свойств и переменными параметрами (уравнений (7–9)):

для древесины ольхи:

$$F_{\text{ФМ}(0)} = 2,05x_1 + 3,50x_2 + 2,24x_4 - \\ - 1,73x_1x_2 + 0,82x_1x_3 + 3,99x_1x_4 - \\ - 1,88x_2x_3 - 2,84x_2x_4 - 1,13x_3x_4; \qquad (7)$$

для древесины березы:

$$x_4 \le 0,2. \qquad (8)$$

При этом показатель жизнеспособности равен

$$y_{\text{ж}} = x_1 + 1,5x_2 + 3x_3 + 1,2x_4 + x_1x_2 + \\ + 104x_1x_3 + 44,2x_2x_3 + 2x_2x_4 + 91x_3x_4; \qquad (9)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1. \qquad (10)$$

Изменение содержания компонентов пропиточного состава приводит к изменению его жизнеспособности. Это накладывает определенные ограничения на область поиска оптимальных значений исследуемых параметров. Функциональная зависимость жизнеспособности состава от указанных четырех параметров установлена на основе дополнительных экспериментов, выполненных в соответствии с аналогичной матрицей планирования эксперимента. При этом параметр x_4, не влияющий на жизнеспособность состава, является фиктивным, что обусловлено нормированием параметров (6). Учитывать его необходимо только при анализе жизнеспособности в той же системе координат (параметров), что и рассматриваемые свойства.

Для составления обобщенного критерия качества модифицированной древесины (4) были использованы полученные уравнения регрессии отдельных свойств (5). В качестве первого приближения полагали, что все рассматриваемые свойства имеют одинаковую важность. Это означает, что все четыре весовых коэффициента одинаковы и равны $1/n$, т. е. $a_i = 0,25,\ i = 1,\ n$.

После подстановки уравнений отдельных физико-механических свойств (5) в уравнение (4) получено выражение обобщенного критерия качества модифицированной древесины, т. е. физико-механических свойств модифицированной древесины ольхи $F_{\text{ФМ(О)}}$ и березы $F_{\text{ФМ(Б)}}$ от содержания компонентов в составе x_1, x_2, x_3 и технологического параметра x_4.

На основании выполненных исследований были получены уравнения регрессии.

В данных уравнениях значения x_j должны быть выражены в кодированных величинах.

При поиске областей максимального обобщенного критерия следует учитывать существование ряда ограничений. Например, каждое свойство модифицированной древесины не должно быть хуже, чем свойство натуральной, т. е.

$$y_i \geq 1,\ i = 1,4. \qquad (11)$$

Кроме того, необходимо, чтобы значение показателя жизнеспособности пропиточного состава было достаточно большим:

$$y_{\text{ж}} \geq 20 \text{ сут}, \qquad (12)$$

а продолжительность пропитки с точки зрения технологии была малой, например

$$x_4 \leq 0,2. \qquad (13)$$

Учет ограничений (11)–(13) усложняет определение оптимальных параметров с помощью диаграмм состав – свойство. Для реализации этой задачи целесообразно использовать соответствующие программы оптимизации. Были определены оптимальные значения исследуемых компонентных и технологического параметров, при которых критерий, обобщенный по (7) и (8), имел максимальное значение в области варьирования параметров с учетом ограничений (11)–(13). Результаты исследований приведены в табл. 2.

В ряде случаев необходимо оценивать модифицированную древесину не по физико-механическим свойствам, а только по механическим или физическим свойствам. Для решения такой задачи следует пользоваться подобным методом. В частности, в данных исследованиях были также определены обобщенные критерии для двух физических свойств – водопоглощения и линейного разбухания и для двух механических свойств – статической твердости и сопротивления истиранию. При этом аналогичным образом с помощью соответствующих уравнений регрессии были составлены выражения для обобщенных критериев и рассчитаны оптимальные параметры (табл. 2).

Анализ данных таблицы показывает, что значения обобщенных критериев физико-механических, физических и механических свойств максимальны при одинаковых значениях исследуемых параметров (состава пропиточной смолы и продолжительности пропитки).

Таблица 2

Оптимальные значения исследуемых параметров для получения максимального обобщенного критерия механических, физических и физико-механических свойств модифицированной древесины

Исследуемые параметры				Частные критерии (физико-механические свойства, выраженные эффектом модифицирования)				Обобщенный критерий свойств		
Содержание, %			Продолжительность пропитки z_4, ч	Статическая твердость $y_{1(\text{М})}$	Сопротивление истиранию $y_{2(\text{М})}$	Линейное разбухание $y_{3(\text{Ф})}$	Водопоглощение $y_{4(\text{Ф})}$	Механические свойства $F_{\text{М}}$	Физические свойства $F_{\text{Ф}}$	Физико-механические свойства $F_{\text{ФМ}}$
смолы z_1	отвердителя z_2	стабилизатора z_3								
Ольха										
97,7	0,5	1,0	0,8	2,6	2,9	–	–	2,75	–	–
97,7	0,5	1,8	0,5	–	–	1,6	3,4	–	2,50	–
97,7	0,5	1,0	0,8	2,6	2,9	1,2	3,6	–	–	2,58
Береза										
98,5	0,5	1,0	0,5	1,2	2,6	–	–	1,90	–	–
97,5	0,5	2,0	0,5	–	–	1,8	2,0	–	1,90	–
98,5	0,5	1,0	0,5	1,2	2,6	1,6	2,0	–	–	1,85

Заключение. Следует отметить, что применение метода обобщенного критерия для оценки качества модифицированной древесины позволяет разработать эффективный состав и технологические режимы получения материала, обладающего лучшим возможным комплексом требуемых качественных свойств (физико-механических, физических и механических). Кроме того, метод максимального обобщенного критерия оценки качества физико-механических свойств позволяет оптимизировать технологические параметры термо-химического модифицирования древесины мягких лиственных пород и осуществить выбор лучшего показателя с точки зрения назначения полученного материала из группы рассматриваемых материалов. Если частные критерии (свойства) неравноценны по важности, следует использовать метод экспертной оценки для определения значений весовых коэффициентов.

Список литературы

1. Материалы. Термическая и химическая модификация древесины // ЛесПромИнформ. Журнал профессионалов ЛПК. № 7 (65). 2009 г. URL: https://www.activestudy.info/modificirovannaya-drevesina (дата обращения: 10.03.2021).

2. Модифицирование древесины. Коллекция Otherreferats. URL: http://otherreferats.allbest.ru› manufacture (дата обращения: 10.03.2021).

3. Николай Скуратов. Пять способов модифицирования древесины. Май 2016. № 5 (97). URL: https://www.lesindustry.ru/issues/li_n97/Pyat_sposobov_modifitsirovaniya_drevesini_1291/ (дата обращения: 03.03.2021).

4. Модификация древесины // ЛесПромИнформ. URL: http://www. https://lesprominform.ru/modifikaciya_drevesiny (дата обращения: 20.01.2021).

5. Фомина О. А. Способы модифицирования древесины лиственных пород: отечественный и зарубежный опыт // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 78 (04). URL: http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/14.pdf – свободный (дата обращения: 10.03.2021).

6. Николин М. Е., Шейкман Д. В., Кошелева Н. А. Улучшение эксплуатационных свойств мягколиственных пород древесины модифицированием // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2012. Ч. 1. С. 260–262.

7. Оптимизация качества. Сложные продукты и процессы / Э. В. Калинина [и др.]. М., 1989. 256 с.

8. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М., 1980. 208 с.

9. Модифицирование древесины ольхи карбамидоформальдегидным полимером на основе смолы МФПС-2 / Л. В. Игнатович [и др.] // Деревообраб. пром-сть. 1988. № 10. С. 19–21.

10. Игнатович Л. В. Конструктивные особенности щитового паркета сложного рисунка из шпона // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 155–158.

11. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Конструктивные и технологические особенности напольных покрытий: монография. Минск: БГТУ, 2011. 273 с.

12. Игнатович Л. В. Rational use of soft wood waste production of materials for construction application // Архитектура и строительные науки. 2015. № 1, 2. С. 25–27.

13. Гальперин А. С., Игнатович Л. В. Исследование жизнеспособности пропиточного состава на основе мочевиноформальдегидной смолы методом симплексного планирования // Модифицирование и защитная обработка древесины. Красноярск, 1989. С. 120–122.

14. Игнатович Л. В., Игнатович М. О. Теоретический анализ проницаемости древесины вдоль волокон при изготовлении торцового паркета // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2004. Вып. XII. С. 182–184.

15. Исследование особенностей структурных изменений уплотненной древесины ольхи для изготовления столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели / С. В. Шетько [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 1. С.158–163.

16. Игнатович Л. В., Утгоф С. С. Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины сосны и ольхи // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. С. 192–195.

17. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки. М., 1988. 296 с.

18. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М., 1985. 327 с.

References

1. Materials. Thermal and chemical modification of wood. *Lesprominform. Zhurnal professionalov LPK* [LesPromInform. Journal of timber industry professionals], 2009, no. 7 (65) (In Russian). Available at: https://www.activestudy.info/modificirovannaya-drevesina (accessed 10.03.2021).

2. *Modifitsirovaniye drevesiny. Kollektsiya Otherreferats* [Modification of wood. Collection Otherreferats]. Available at: http://otherreferats.allbest.ru› manufacture (accessed: 10.03.2021).

3. Nikolay Skuratov. *Pyat' sposobov modifitsirovaniya drevesiny* [Five ways to modify wood]. May 2016, no. 5 (97) (In Russian). Available at: https://www.lesindustry.ru/issues/ li_n97/Pyat_sposobov_modifitsirovaniya_drevesini_1291/ (accessed 03.03.2021).

4. *Modifikatsiya drevesiny. LesPromInform* [Modification of wood. LesPromInform]. Available at: http://www.lesprominform.ru/modifikaciya_drevesiny (accessed 20.01.2021).

5. Fomina O. A. Methods for modifying wood of deciduous breeds: domestic and foreign experience. *Nauchnyy zhurnal KubSAU* [Scientific journal KubSAU], 2012, no. 78 (04) (In Russian). Available at: http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/14.pdf - free / (accessed 10.03.2021).

6. Nikolin M. E., Sheikman D. V., Kosheleva N. A. Improvement of the operational properties of soft-leaved wood species by modification. *Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov i konkursa po programme "Umnik"* [Scientific creativity of youth – the forestry complex of Russia: materials of the VIII All-Russia. scientific and technical conf. undergraduate and graduate students and competition for the program "Clever"]. Ekaterinburg, 2012, part 1, pp. 260–262 (In Russian).

7. Kalinina E. V, Lapiga A. G, Polyakov V. V, Khurgin Ya. I., Vagenknecht M., Peshel M., Hartaman K. *Optimizatsiya kachestva. Slozhnyye produkty i protsessy* [Quality Optimization. Complex products and processes]. Moscow, 1989. 256 p.

8. Wenttsel E. S. *Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya* [Operations research: tasks, principles, methodology], Moscow, 1980. 208 p.

9. Ignatovich L. V, Shutov G. M, Gal'perin A. S, Lezhen V. I. Modification of alder wood with a carbamide-formaldehyde polymer based on resin MFPS-2. *Derevoobrabatyvauyshchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1988, no. 10, pp. 19–21 (In Russian).

10. Ignatovich L. V. Constructive features of a panelboard parquet with a complex veneer pattern // *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 155–158 (In Russian).

11. Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Konstruktivnyye i tekhnologicheskiye osobennosti napol'nykh pokrytiy* [Constructive and technological features of floor coverings]. Minsk, BGTU Publ., 2011. 273 p.

12. Ignatovich L. V. Rational use of soft wood waste production of materials for construction application. *Arkhitektura i stroitel'nyye nauki* [Architecture and building sciences], 2015, no. 1, 2, pp. 25–27 (In Russian).

13. Halperin A. S, Ignatovich L. V. Study of the viability of the impregnating composition based on urea-formaldehyde resin by the method of simplex planning. *Modifitsirovaniye i zashchitnaya obrabotka drevesiny* [Modification and protective treatment of wood]. Krasnoyarsk, 1989, pp. 120–122 (In Russian).

14. Ignatovich L. V., Ignatovich M. O. Theoretical analysis of wood permeability along fibers in the manufacture of end parquet. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series XII, Forestry and Woodworking Industry, 2004, pp. 182–184 (In Russian).

15. Shetko S. V, Ignatovich L. V, Prokhorchik S. A, Chuikov A. S. Study of the peculiarities of structural changes in compacted alder wood for the manufacture of joinery and construction products and structural elements of furniture. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 1, pp. 158–163 (In Russian).

16. Ignatovich L. V. Utgof S. S. Features of structural changes during thermomechanical modification of pine and alder wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forestry and Woodworking Industry, pp. 192–195 (In Russian).

17. Pizhurin A. A., Rosenblit M. S. *Osnovy modelirovaniya i optimizatsii protsessov derevoobrabotki* [Basics of modeling and optimization of wood processing processes]. Moscow, 1988. 296 p.

18. Akhnazarova S. L., Kafarov V. V. *Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoy tekhnologii* [Methods of experiment optimization in chemical technology]. Moscow, 1985. 327 p.

Информация об авторах

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by, ignatovich6@gmail.com

Тулейко Валерий Валентинович – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Речицадрев» (247500, Речица, ул. 10 лет Октября, 17/19, Гомельская область, Республика Беларусь). E-mail: info.rechitsadrev@wood.by

Чуйков Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: offlex88@mail.ru, offlex88@belstu.by

Утгоф Светлана Сергеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: utgof@belstu.by

Information about the authors

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Tuleyko Valery Valentinovich – PhD (Engineering), General Director of JSC “Rechitsadrev” (17/19 str. 10 years of October, 247500, Rechitsa, Gomel region, Republic of Belarus,). E-mail: info.rechitsadrev@wood.by

Chuikov Aleksey Sergeevich – PhD (Engineering), Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru, offlex88@belstu.by

Utgof Svetlana Sergeevna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: utgof@belstu.by

Поступила 15.03.2021

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ДРЕВЕСИНЫ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

В статье приведены результаты исследования механизмов начального прогрева древесины в ненасыщенной среде. Установлены основные параметры технологического процесса нагревания пиломатериалов, влияющие на продолжительность прогрева и на величину внутренних напряжений (качественная оценка). Получены графические зависимости изменения температуры и влажности поверхностных и внутренних слоев образцов во времени, которые характеризуют кинетику начального прогрева древесины. Для планирования эксперимента по определению продолжительности операции начального прогрева применяли В-план второго порядка. Построены двухмерные поверхности функции отклика, представленной в виде квадратичной трехфакторной регрессионной модели. Приведены результаты аналитического расчета величины внутренних напряжений, возникающих на поверхности древесины в процессе прогрева в ненасыщенной среде. Произведен анализ влияния технологических факторов, таких как температура и степень насыщенности обрабатывающей среды, начальная температура и влажность древесины, толщина пиломатериалов, на основные закономерности нагревания древесины. На основе результатов исследований разработаны рекомендации по технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде. В данной работе обращается внимание на то, что при повышенной степени насыщенности и температуре обрабатывающей среды выше 50°С микроструктурные элементы древесины приобретают эластичность и пластичность, что, в свою очередь, способствует открытию пор и, соответственно, подготавливает влагопроводящую систему древесины к последующей сушке.

Ключевые слова: прогрев, технология, продолжительность, перепад температур, степень насыщенности.

Для цитирования: Рудак О. Г. Исследование параметров технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 268–276.

O. G. Rudak
Belarusian State Technological University

STUDY OF THE PARAMETERS OF THE INITIAL WOOD HEATING TECHNOLOGY IN AN UNSATURATED ENVIRONMENT

The article presents the results of a study of the mechanisms of the initial heating of wood in an unsaturated environment. The main parameters of the technological process of heating sawn timber, which affect the duration of heating and the value of internal stresses (qualitative assessment), have been established. The graphical dependences of the temperature and humidity changes of the surface and inner layers of the samples in time were obtained, which characterize the kinetics of the initial heating of wood. To plan the experiment to determine the duration of the initial warm-up operation, the B-plan of the second order was used. Two-dimensional surfaces of the response function are constructed, presented in the form of a quadratic three-factor regression model. The results of an analytical calculation of the value of internal stresses arising on the surface of wood during heating in an unsaturated environment are presented. The analysis of the influence of technological factors, such as the temperature and degree of saturation of the processing environment, the initial temperature and moisture content of the wood, the thickness of lumber, on the basic laws of wood heating is carried out. Based on the research results, recommendations were developed for the technology of the initial heating of wood in an unsaturated environment. This work draws attention to the fact that with an increased degree of saturation and a temperature of the processing medium above 50°C, the microstructural elements of wood acquire elasticity and plasticity, which, in turn, contributes to the opening of pores, and, accordingly, prepares the moisture-conducting system of wood for subsequent drying.

Key words: heating, technology, duration, temperature difference, degree of saturation.

For citation: Rudak O. G. Study of the parameters of the initial wood heating technology in an unsaturated environment. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 268–276 (In Russian).

Введение. Одним из важнейших показателей экономической эффективности производства является снижение себестоимости готовой продукции без потерь ее качественных характеристик. Как известно, одной из наиболее энергозатратных операций деревообработки является сушка пиломатериалов. При этом существенная часть энергии расходуется не на саму сушку, а на проведение начального прогрева.

Основным назначением операции начального прогрева является повышение температуры пиломатериалов, предназначенных для сушки, до уровня температуры сушильного агента, а также подготовка влагопроводящей системы древесины к испарению влаги.

В настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь широко используются сушильные камеры как зарубежных, так и отечественных производителей. Сушильные камеры марок СПЛК, СПВ, ВК и других были разработаны в 70-х гг. XX века. В качестве теплоносителя в таких сушильных установках выступал перегретый водяной пар, поэтому для таких условий были разработаны рекомендации по проведению камерной сушки древесины РТМ [1]. Однако в связи с существенными энергетическими затратами на производство перегретого водяного пара, сложностью в регулировке температуры теплоносителя, сложностью оборудования для производства и эксплуатации водяного пара применение такого неэкономичного теплоносителя на сегодняшний день является нецелесообразным.

Современные сушильные камеры в своем большинстве в качестве теплоносителя используют горячую воду. Технологические режимы, используемые в программном обеспечении систем автоматизации данных камер, позволяют производить сушку пиломатериалов при условии минимизации энергозатрат и вероятности возникновения брака в процессе сушки. Немаловажен и тот факт, что количественные значения параметров режима прогрева каждая фирма-производитель устанавливает согласно своим требованиям, соответственно, и технология прогрева разная. Однако, в связи с тем, что технологические режимы для данных камер разрабатывались на территории стран, климат в которых, в той или иной степени, отличается от климатических условий Республики Беларусь, при разработке данных режимов не были учтены некоторые факторы, характерные для белорусских деревообрабатывающих предприятий. Например, не учитывается, что на участки сушки в зимний период поступает замороженная древесина с $t_0 < 0$°C.

Целью настоящей работы являлись исследования параметров технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде во времени при различных условиях обрабатывающей среды.

Задача исследования – установить математическую зависимость продолжительности начального прогрева от степени насыщенности и температуры обрабатывающей среды, а также начальной температуры и влажности древесины.

Объектом исследования является технология начального прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде.

Предметом исследования выступает древесина как капиллярно-пористый коллоидный материал.

Основная часть. Согласно Руководящим техническим материалам по технологии камерной сушки древесины РТМ [1], для интенсивного начального прогрева древесины пар подают через увлажнительные трубы при включенных калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналах. Кроме этого, для безопасного начального прогрева перед сушкой в камере создается высокая степень насыщенности среды при повышенной, по сравнению с первой ступенью режима сушки, температуре. Для создания высокой степени насыщенности психрометрическую разность поддерживают на уровне 0,5–1,5°C (φ = 0,93–0,97). Использование пара действительно легко позволяло достичь значений насыщенности сушильного агента, близких к 100%. Однако в современной литературе [2] степень насыщенности среды при прогреве в камерах с теплоносителем и увлажнителем водяной пар предлагают устанавливать иначе: для древесины с начальной влажностью более 25% – в пределах 0,98–1,00, а для древесины с влажностью менее 25% – 0,90–0,92.

Температуру среды $T_{пр}$ при прогреве пиломатериалов из древесины мягких хвойных пород (сосны, ели, кедра, пихты) поддерживают в зависимости от толщины и категории режима сушки по специализированной таблице. При прогреве пиломатериалов из других пород древесины температура среды на 5–8°C выше температуры начальной ступени режима сушки (но не выше 100°C) [1].

Продолжительность процесса прогрева предлагают ориентировочно принимать равной: для мягких хвойных пород – 1,5 ч на каждый сантиметр толщины пиломатериалов; для мягких лиственных пород это время увеличивают на 25%; для твердых лиственных пород – на 50%, т. е. $\tau_{нп.\ хв} = 1{,}5 \cdot S$; $\tau_{нп.\ м.\ листв} = 1{,}5 \cdot S \cdot 1{,}25$; $\tau_{нп.\ тв.\ листв} = 1{,}5 \cdot S \cdot 1{,}5$.

Древесину выдерживают при указанных параметрах до тех пор, пока разность между температурой среды и температурой в центре доски не достигнет 3°C. После этого температура среды снижается до уровня первой ступени

сушки без отключения циркуляционной системы сушильной камеры. При соблюдении такого режима прогрева не происходит снижения влажности поверхностных слоев древесины и, следовательно, накопления в материале напряжений. Это делает операцию начального прогрева безопасной, но удлиняет процесс, так как собственно сушка на данной стадии не происходит [3].

На сегодняшний день большинство предприятий деревообрабатывающей отрасли перешло на использование более дешевого и простого в эксплуатации теплоносителя – горячей воды. Выбор обусловлен преимуществами воды как теплоносителя: высокая плотность, удельная теплоемкость, сравнительно низкая вязкость, высокие значения коэффициента теплоотдачи, низкая химическая активность, нетоксичность, дешевизна и доступность, возможность регулирования уровня температуры.

Однако переход на воду предсказуемо повлек за собой изменение традиционной технологии начального прогрева. Так, при увлажнении сушильного агента в период прогрева вода подается в пространство камеры в диспергированном виде через систему форсунок, установленных на увлажнительной трубе.

Таким образом, само увлажнение получается не прямым, как в случае пара, а опосредованным, происходящим в процессе перехода диспергированной влаги в парообразное состояние. Данный метод менее эффективен и не позволяет быстро достигать высоких значений насыщенности сушильного агента. Поэтому фактически прогрев пиломатериалов в камерах, использующих в качестве теплоносителя воду, происходит в ненасыщенной среде. Предварительные исследования показали, что значение насыщенности воздуха при этом колеблется в диапазоне $\varphi = 70–90\%$. Следует также отметить, что применение в качестве теплоносителя горячей воды с температурой 95°С обеспечивает максимальную температуру обрабатывающего агента внутри камеры не более 80–83°С. Данный факт показывает, что максимальная температура как сушки, так и прогрева не может превышать 80°С. Также следует обратить внимание, что продолжительность операции начального прогрева строго не регламентируется. Более того, у разных производителей при одинаковых толщинах пиломатериалов, температуре прогрева и степени насыщенности обрабатывающей среды продолжительность нагревания устанавливается от 6 до 14 ч [4]. Кроме того, одни производители проводят начальный прогрев в условиях, близких к насыщению, а другие – при параметрах среды, соответствующих первой ступени сушки.

Таким образом, возникает необходимость разработки технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде, которая будет соответствовать реальным производственным условиям в Республике Беларусь. Режимы начального прогрева должны быть основаны на рациональном использовании энергоресурсов и учитывать качество получаемой продукции.

Технологический процесс начального прогрева характеризуется следующими обязательными контролируемыми параметрами обрабатывающего агента [5]:

1) температура T, °С;
2) степень насыщенности φ;
3) психрометрическая разность ΔT, °С.

У прогреваемых пиломатериалов основными параметрами являются порода древесины, начальная влажность и температура, толщина [6].

Изучение механизмов начального прогрева древесины в ненасыщенной среде проводили в климатической камере модели ТХВ, оснащенной датчиками влажности и температуры обрабатывающего агента, а также измерительной установкой, состоящей из датчиков, фиксирующих влажность и температуру древесины, с выводом результатов на экран (рис. 1) [7].

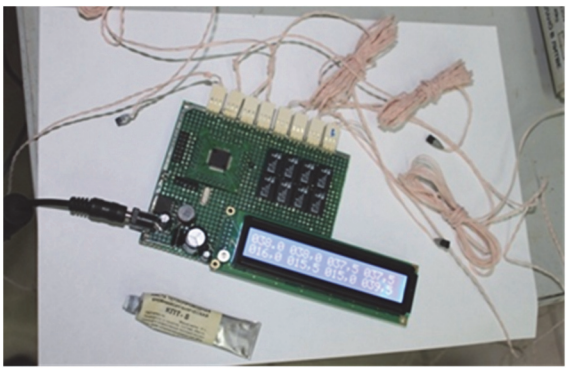


Рис. 1. Общий вид измерительной установки

В качестве экспериментального материала для исследования изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины в процессе начального прогрева в ненасыщенной среде использовались сосновые образцы смешанной распиловки толщиной $S = 20, 40, 60$ мм. Ширина пиломатериалов b равнялась 250 мм. Начальная влажность опытных образцов измерялась электровлагомером GANN HT 85.

Фиксируемыми параметрами в этом эксперименте являлись температура и влажность поверхностных и внутренних слоев древесины, а также продолжительность прогрева τ в минутах. Эксперимент проводился для четырех разных условий: начальной влажности образцов $W_{\text{нач}} < 30\%$, $W_{\text{нач}} > 30\%$ и начальной температуре $t_0 > 0$°С, $t_0 < 0$°С.

Экспериментальные образцы помещались в климатическую камеру, где производился их прогрев в ненасыщенной среде по установленному

режиму. Прогрев проводили до тех пор, пока разница температур окружающей среды и внутренних слоев древесины не составляла 2–3°С.

Условия проведения экспериментальных исследований, а именно параметры обрабатывающего агента были определены на основе анализа априорной информации как теоретического, так и практического материала. Результатом данного анализа выступает определение экспериментальной области факторного пространства, которое заключается в выборе основного (нулевого) уровня и интервалов варьирования факторов. Минимальная температура начального прогрева устанавливалась на уровне 40°С, а максимальная – 80°С (исходя из возможностей теплоносителя). Степень насыщенности обрабатывающей среды устанавливали в диапазоне от 0,7 до 0,9. Выбор такого диапазона влажности воздуха обусловлен не только возможностями создания определенной степени насыщенности диспергированной водой, но и многочисленными исследованиями процессов сушки древесины, в ходе которых установлено, что при низких значениях φ происходит интенсивная сушка поверхностных слоев древесины, что противоречит основной цели самой операции начального прогрева.

По результатам экспериментов были построены графические зависимости изменения температуры и влажности поверхностных и внутренних слоев образцов во времени, которые характеризуют кинетику начального прогрева. Общий вид кинетических кривых температуры и влажности древесины приведен на рис. 2 и 3.

Математическое планирование эксперимента применяется для повышения эффективности проведения исследований. С учетом существующих рекомендаций авторов [8] для получения регрессионных моделей, с помощью которых описывают выходные характеристики процесса нагрева древесины, наиболее удобно использовать планы второго порядка типа B_k. Варьируемыми факторами являлись:

1) температура обрабатывающей среды ($T = X_1$);

2) толщина пиломатериалов ($S = X_2$);

3) степень насыщенности обрабатывающей среды ($\varphi = X_3$).

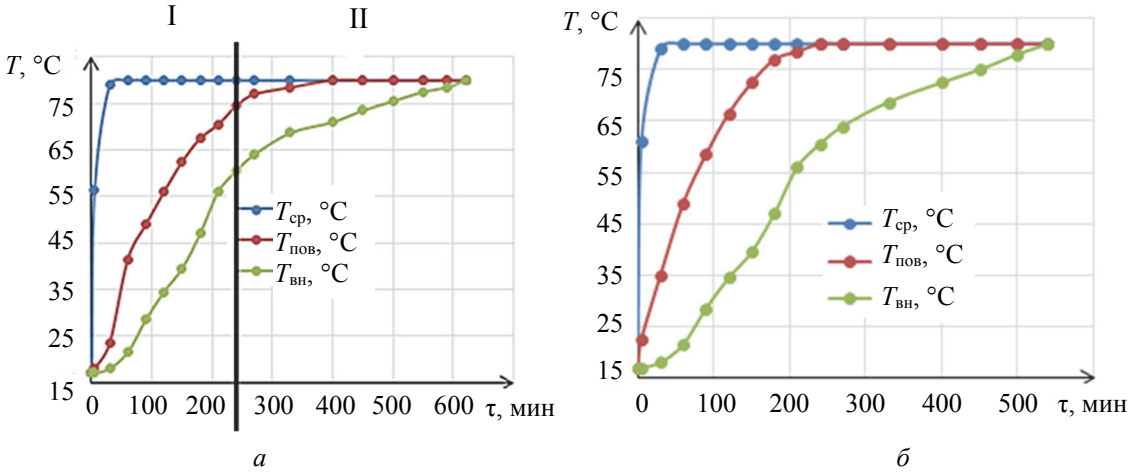


Рис. 2. Характер изменения температурных кривых при прогреве с T = 80°С, $W_{нач}$ = 55%, S = 60 мм: *а* – прогрев при φ = 0,7; *б* – прогрев при φ = 0,9

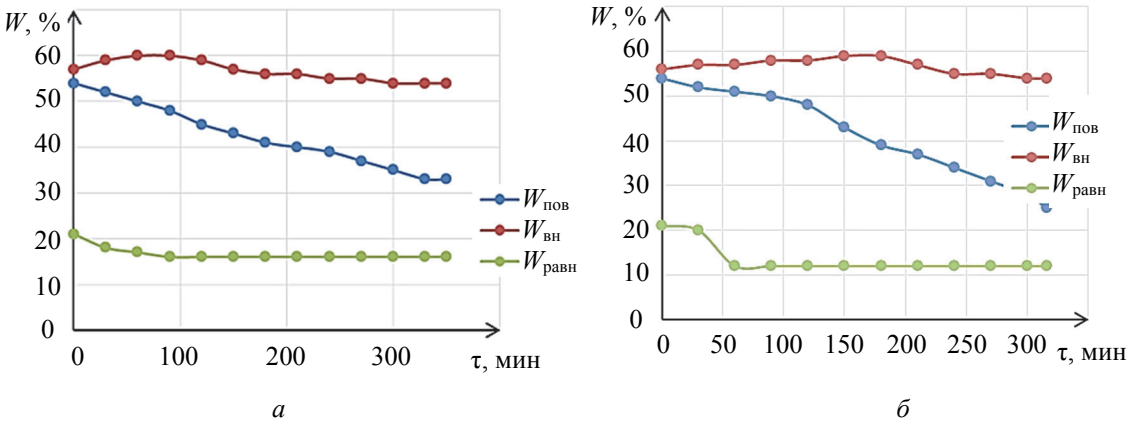


Рис. 3. Характер изменения кривых влажности при прогреве, $W_{нач}$ = 55%, S = 20 мм: *а* – прогрев при $T_{ср}$ = 40°С и φ = 0,7; *б* – прогрев при $T_{ср}$ = 80°С и φ = 0,9

В качестве функции отклика рассматривалась продолжительность достижения центральным слоем древесины температуры среды. В соответствии с методикой [8] каждый фактор варьировался на трех уровнях, т. е. принимал в каждом опыте одно из трех значений: наименьшее X_{min}, наибольшее X_{max} либо среднее $X_{ср} = (X_{min} + X_{max}) / 2$. Таким образом, при диапазоне варьирования 40–80°С температура в эксперименте устанавливалась на уровнях 40, 60, 80°С. Диапазон изменения толщин составил 20–60 мм, уровни варьирования соответственно 20, 40 и 60 мм [9]. Диапазон изменения влажности воздуха 0,7–0,9%, уровни варьирования соответственно 0,7; 0,8 и 0,9%.

На основе экспериментальных данных были определены регрессионные зависимости функции отклика от зависимых и независимых факторов. Для условий эксперимента при начальной влажности пиломатериалов $W_{нач} < 30\%$ и их начальной температуре $t_0 > 0$°С математическая модель продолжительности прогрева в натуральных величинах имеет следующий вид:

$$\tau = 1418,6 - 4,4 \cdot t + 1,34 \cdot S - 2725,6 \cdot \varphi + \\ + 0,04975 \cdot t \cdot S - 6,0625 \cdot S \cdot \varphi - 1,25 \cdot t \cdot \varphi + \\ + 0,049 \cdot t^2 + 0,055 \cdot S^2 + 1760 \cdot \varphi^2, \qquad (1)$$

где t – температура обрабатывающей среды, °С; φ – степень насыщенности обрабатывающей среды, %; S – толщина пиломатериалов, мм.

На нижеследующих поверхностях отклика, построенных на основе модели, можно видеть, как меняется продолжительность прогрева при фиксированном значении степени насыщенности φ (рис. 4, 5, 6).

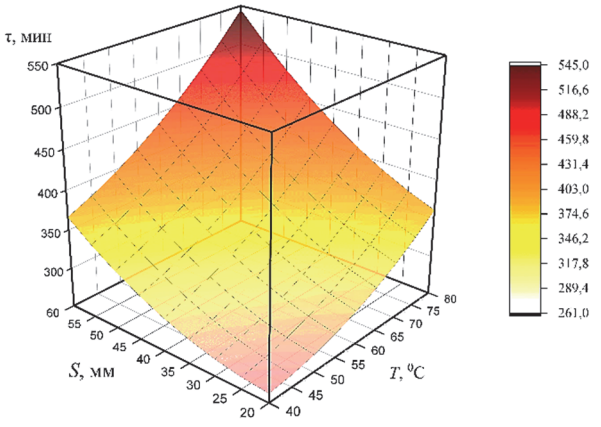


Рис. 4. Продолжительность прогрева при степени насыщенности $\varphi = 0,7$

Полученная зависимость позволяет прогнозировать продолжительность прогрева материалов при различных сочетаниях переменных факторов.

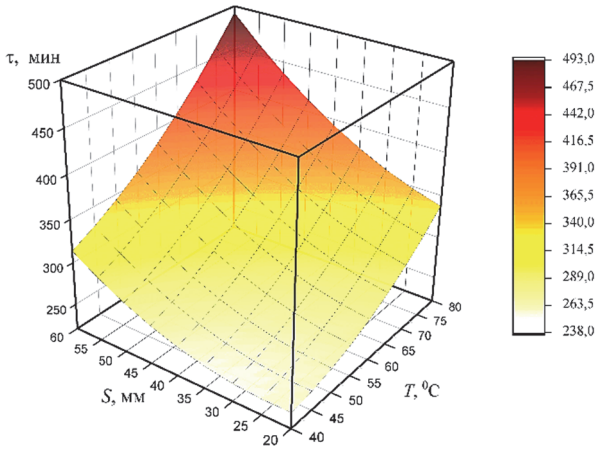


Рис. 5. Продолжительность прогрева при степени насыщенности $\varphi = 0,8$

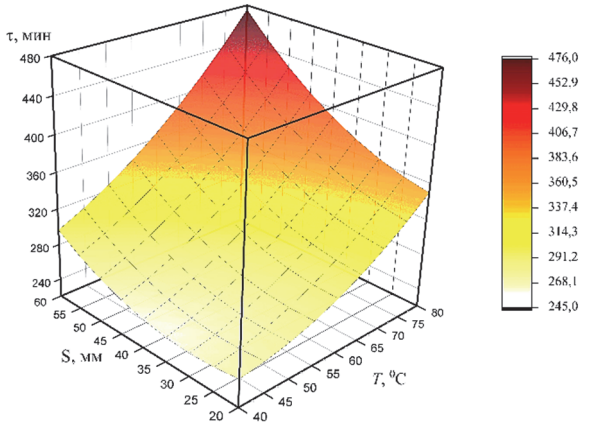


Рис. 6. Продолжительность прогрева при степени насыщенности $\varphi = 0,9$

Проверка уравнения регрессии с использованием критерия Фишера подтвердила адекватность данной модели. При анализе данных графических зависимостей температурных кривых при прогреве обращает на себя внимание тот факт, что в процессе нагревания древесины возникает и длительное время поддерживается значительная разность температур среды и поверхности образца древесины, а также поверхностных и внутренних слоев образца. Это однозначно свидетельствует о том, что нагревание сопровождается испарением влаги с поверхности древесины, т. е. об одновременном протекании тепло- и влагопереноса. Также стоит отметить, что заметный перепад температур на поверхности и внутри образца является причиной формирования неравномерного температурного поля по сечению древесины. В свою очередь, возникновение разницы температур является причиной перемещения влаги по направлению потока теплоты.

На рис. 3, нетрудно заметить, что стабилизация влажности на поверхности прогреваемых сортиментов происходит на уровне значения

устойчивой влажности при десорбции, соответствующей заданным параметрам обрабатывающей среды. Перепад влажности по толщине пиломатериалов изменяется от 5–7% в начале процесса до 24–29% – в конце. Следовательно, в образце возникает градиент влажности, под действием которого влага будет стремиться к перемещению в направлении, противоположном направлению потока влаги. Влага по объему пиломатериала всегда двигается в сторону убывающей влажности. При определенном соотношении между влажностным и температурным градиентами эффект влагопроводности полностью компенсирует эффект термовлагопроводности, и по сечению образца устанавливается стационарное поле температуры и влажности, что мы и наблюдаем в конце эксперимента [7].

Однако перепад температуры препятствует движению влаги от центра к поверхности образца и одновременно уменьшает интенсивность теплообмена с обрабатывающей средой за счет уменьшения разности температур между температурой среды и температурой поверхности материала, при этом зона испарения перемещается во внутрь пиломатериала. Известно, что при удалении свободной влаги от центра материала к поверхности она движется только под действием градиента капиллярного давления [10]. В результате испарения влаги с поверхности древесины создается «пересушенный поверхностный слой», который препятствует передаче тепла (из-за уменьшения теплопроводности древесины) от сушильного агента внутрь образца, а также – свободная влага, испаряясь, забирает часть тепла. Следовательно, отрицательный градиент температуры препятствует градиенту влажности, влагопроводность в период прогрева не изменяется, оставаясь на прежнем уровне.

Следует отметить, что при значении температуры древесины выше 56°С наступает переходный период: возрастает влагопроводность и основной движущей силой в удалении влаги становится градиент влажности. С самого начала сушильного процесса влага движется к поверхности доски (в незначительной степени) в виде жидкости и в большей – в виде диффундирующего пара. Это явление объясняется увеличением коэффициента диффузии водяного пара и снижением вязкости жидкой влаги в капиллярах древесины при повышении температуры. Молекулы воды, преодолевая сопротивление мембран пор клеточных оболочек при повышенных температурах, стимулируют стабильный поток жидкой влаги к поверхности древесины. Но вместе с этим по направлению движения теплового потока движется и влага, т. е. от поверхности к внутренним слоям древесины. Градиенты влажности и температуры направлены противоположно, процесс непосредственного интенсивного удаления влаги осложнен.

Следовательно, начальный прогрев в ненасыщенной среде не позволяет реализовать потенциальные возможности основного закона влагопереноса, который регламентирует преобладающее влияние на плотность потока перемещения влаги именно коэффициента влагопроводности, поэтому и сушка, как таковая, отсутствует. Также стоит отметить, что интенсивность изменения влажности поверхностных слоев древесины тем больше, чем больше разность ΔT между температурой обрабатывающей среды $T_{ср}$ и температурой в центральных слоях образцов $T_{вн}$. Это можно объяснить положительным влиянием явления термовлагопроводности.

Прогрев древесины с начальной температурой $t_0 < 0$°С позволил установить, что отрицательная начальная температура пиломатериалов оказывает значительное влияние на продолжительность операции прогрева, особенно для образцов с начальной влажностью $W_{нач} > 30\%$. Исследование кинетики прогрева образцов с $W_{нач} < 30\%$ показало, что при нагреве замороженной древесины имеет место значительное отставание в росте температуры внутреннего слоя от повышения температуры поверхностных слоев, сохраняющееся в течение практически всего периода прогрева. Данный температурный градиент инициирует явление термовлагопроводимости, противодействующее влагопроводности в большей степени, чем это наблюдается в древесине с положительной начальной температурой. Тем не менее эксперимент не выявил стабилизации температуры внутреннего слоя на отметке 0°С, что соответствовало бы плавлению свободной замороженной влаги в полостях клеток древесины (в отличие от образцов с $W_{нач} > 30\%$). Это подтверждает теорию о том, что содержание льда в древесине с температурой до –10°С крайне мало ввиду того, что свободная влага представляет собой раствор органических и минеральных веществ.

При подведении итогов исследования механизма проведения начального прогрева древесины в ненасыщенной среде обратил на себя внимание один интересный факт. Интенсивность изменения температуры экспериментальных образцов на протяжении всего периода обработки происходит неравномерно. Сначала прогрев древесины происходит достаточно быстро, со скоростью 30,6°С/ч, а потом резко снижается и составляет около 6,8°С/ч. Причем переход от периода быстрого нагревания к медленному происходит при достижении внутренними слоями древесины температуры, отличающейся от температуры смоченного термометра на 5°С (рис. 2, *а*). Следовательно, технологическая операция

начального прогрева древесины в ненасыщенной среде может быть разделена на два периода – быстрого и медленного нагревания. Данный факт необходимо учитывать при разработке энергоэффективных режимов начального прогрева.

Изменение влажности поверхностных слоев древесины, описанное выше, предполагает развитие внутренних напряжений в древесине уже на этапе начального прогрева, что, в свою очередь, является причиной возникновения дефектов сушки (трещины, коробления). Следует отметить, что древесина подвергается усушке, если ее влажность меньше влажности предела насыщения клеточных стенок. Известно, что если влажность поверхностных слоев меньше влажности предела насыщения клеточных стенок, то они испытывают деформации растяжения. Влажность внутренних слоев древесины больше влажности предела насыщения клеточных стенок, и напряжения в них не возникают. Для вышеописанного напряженно-деформированного состояния древесины Б. Н. Уголевым была предложена формула (2) для расчета величины влажностных напряжений, МПа [11]:

$$\sigma = \alpha \cdot E_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta W) \times \times \left[\Delta W - \frac{\Delta W_{\max} \cdot x \cdot (1 + \frac{2}{3} \cdot \beta \cdot \Delta W_{\max})}{2R + \beta \cdot \Delta W_{\max} \cdot x} \right], \quad (2)$$

где α – коэффициент усушки; β – коэффициент, учитывающий зависимость модуля упругости E от перепада влажности; ΔW – перепад влажности, %; $\Delta W_{\max}$ – максимальный перепад влажности, %; x – глубина испарения, мм; R – половина толщины доски, мм.

С использованием приведенной формулы и результатов предыдущего эксперимента были выполнены аналитические расчеты величины внутренних напряжений, возникающих при прогреве древесины в ненасыщенной среде. Характер изменения величины напряжений для сосновых пиломатериалов разной толщины оказался идентичным.

Результаты аналитического расчета показывают, что в процессе прогрева в ненасыщенной среде на поверхности древесины с начальной влажностью возникают растягивающие внутренние напряжения. Однако они не превышают допустимого значения $\sigma = 5{,}4$ МПа и, более того, меньше его в десятки раз. Это говорит о том, что имеется возможность максимально приблизить величину температуры и степень насыщенности обрабатывающей среды к параметрам режима сушки, поддерживая на безопасном уровне величину внутренних напряжений. Этот технологический прием позволит сократить общую продолжительность процесса сушки древесины и снизить энергозатраты.

Дополнительное удаление влаги при прогреве и непосредственно на первой ступени сушки экономит расход диспергированной воды для создания требуемого параметра степени насыщенности обрабатывающей среды, причем чем выше температура прогрева, тем больше этот эффект. Также испаренная из пиломатериала влага изменит количество водяного пара в обрабатывающей среде на определенную величину [12].

На основе результатов исследований разработаны рекомендации по технологии начального прогрева.

1. Поскольку древесина является теплоизоляционным материалом, плохо поглощающим тепло, то во избежание разности температуры между поверхностью и внутренними слоями древесины рекомендуется не допускать больших ее перепадов (15–18°С), т. е. прогрев необходимо проводить медленно и равномерно.

2. Прогрев древесины при высокой температуре и низкой степени насыщенности обрабатывающей среды может приводить к такому феномену, как «цементация», или закупоривание пор, из-за интенсивного испарения с поверхности, что значительно затруднит последующий процесс продвижения влаги к поверхности и ее испарение. Во избежание этой неприятности прогрев следует проводить при высокой степени влажности воздуха ($\varphi = 0{,}8$–$0{,}9$), так, чтобы равновесная влажность прогреваемой древесины была близка к 15–19% (с начальной степенью влажности $W_{\text{нач}} > 30\%$), а пиломатериалы с начальной влажностью $W_{\text{нач}} < 30\%$ рекомендуется прогревать в среде сушильного агента, степень насыщенности φ которого по диаграмме равновесной влажности соответствуют начальной влажности материала.

3. При повышенной степени влажности и температуре обрабатывающей среды микроструктурные элементы древесины приобретают эластичность и пластичность, что способствует открытию пор, а это подготавливает влагопроводящую систему древесины к последующей сушке.

4. Многие породы древесины подвержены поражению грибком, который развивается при температурах от 10 до 45–50°С, поэтому прогревать древесину нужно выше 50°С, и быстрое прохождение этого диапазона уменьшает риск развития такого видимого дефекта, как «синева».

5. Начальный прогрев древесины при температуре выше 56°С способствует снижению вязкости влаги в капиллярах, что, в свою очередь, повышает влагопроводность древесины, в результате чего влага интенсивно перемещается из центральной зоны к поверхности материала.

Следует отметить, что под действием перепада температур на поверхности и внутри древесины возникает интенсивный поток влаги от более горячих зон к более холодным даже в тех случаях, когда холодная зона оказывается более влажной [13]. Поэтому сушка не должна начинаться до полного прогрева (сквозного по толщине досок). Это значит, что температура в центре сечения досок до начала сушки должна быть не ниже температуры по мокрому термометру психрометра для 1-й ступени сушки.

6. Учитывая рекомендации, указанные в п. 3–5, температуру начального прогрева необходимо устанавливать в диапазоне 50–65°С. Более высокая температура прогрева увеличивает его продолжительность, что может приводить к завышенному расходу энергоресурсов.

7. Продолжительность начального прогрева можно выбирать согласно разработанной на основе математической модели таблицы с учетом следующих параметров: начальной температуры и влажности пиломатериала, его толщины, а также температуры и степени насыщенности обрабатывающей среды, установленных согласно режиму. Следует отметить, что данная таблица учитывает и время на нагревание древесины от отрицательной температуры до 0°С, и время на плавление льда, содержащегося в древесине.

8. Прогрев древесины в ненасыщенной среде проходит в два периода – быстрого и медленного нагревания. В первом периоде преобладает градиент температуры и интенсивной сушки не происходит. Во втором периоде перепад температуры по толщине уменьшается, а перепад влажности увеличивается, а это говорит о том, что происходит движение влаги под действием градиента влажности. Интенсивность испарения ограничивается высокой степенью насыщенности обрабатывающей среды.

Заключение. В период начального прогрева древесины в ненасыщенной среде наблюдается перепад температуры и влажности на поверхности и внутри образца. В свою очередь, возникновение перепада влажности является причиной перемещения влаги по направлению от центральных слоев к периферийным. В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по технологии начального прогрева.

Математическое моделирование экспериментальных исследований позволило получить регрессионную модель для определения продолжительности начального прогрева в ненасыщенной среде.

Результаты исследования механизмов проведения начального прогрева древесины в ненасыщенной среде позволили получить следующие выводы.

1. С повышением температуры обрабатывающей среды увеличивается продолжительность процесса прогрева, а также возрастает перепад температур на поверхности и внутри древесины, что является причиной возникновения явления влагопереноса.

2. При увеличении начальной влажности древесины скорость изменения ее температуры уменьшается и, как следствие, возрастает продолжительность прогрева.

3. С увеличением толщины образца увеличивается продолжительность прогрева, а скорость изменения температуры древесины остается практически одинаковой.

4. С повышением степени насыщенности среды уменьшается продолжительность прогрева, а также возрастает скорость изменения температуры на поверхности древесины.

5. Прогрев древесины в ненасыщенной среде проходит в два периода – быстрого и медленного нагревания.

6. Изменение влажности поверхностных слоев древесины ниже влажности предела насыщения клеточных стенок является причиной возникновения внутренних растягивающих напряжений, однако они не превышают допустимого значения $\sigma = 5{,}4$ МПа и, более того, меньше его в 8–10 раз.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при разработке ресурсосберегающих режимов начального прогрева древесины.

Список литературы

1. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. 92 с.

2. Фридман И. Н. Деревообработка. Практическое руководство. С.-Петербург: Профикс, 2003. 543 с.

3. Вилейшикова Н. В., Донченко Л. Ф., Снопков В. Б. Изучение режимов начального прогрева древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. 2002. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 177–183.

4. Рудак О. Г., Короб А. Ю. Исследование характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (234). С. 162–169.

5. Кречетов И. В. Сушка древесины. М.: Лесная пром-сть, 1980. 432 с.

6. Рудак О. Г., Снопков В. Б. Изменение тепловых свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. 2012. № 2 (149): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 161–164.

7. Рудак О. Г. Исследование явления термовлагопроводности при прогреве древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 2 (240). С. 233–238.

8. Пижурин А. А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. 305 с.

9. Рудак О. Г., Мазаник Н. В., Снопков В. Б. Применение математического моделирования для определения продолжительности начального прогрева в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. 2013. № 2 (158): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 146−149.

10. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.

11. Уголев, Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. М.: Лесная пром-сть, 1971. 264 с.

12. Рудак О. Г. Изменение влажности пиломатериалов по толщине при прогреве в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 165–167.

13. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. М.: ГосЭнергоИздат, 1956. 463 с.

References

1. *Rykovodyashchiye tekhnicheskiye materialy po tekhnologii kamernoy sushki drewesiny* [Guiding technical materials on the technology of chamber drying of wood]. Arhangelsk, TsNIIMOD Publ., 1985. 92 p.

2. Fridman I. N. *Derevoobrabotka. Prakticheskoye rykovodstvo* [Woodworking. A practical guide]. St. Petersburg, Profiks Publ., 2003. 543 p.

3. Vileishikova N. V., Donchenko L. F., Snopkov V. B. Study of the modes of initial heating of wood in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2002, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 177–183 (In Russian).

4. Rudak O. G., Korob A. Yu. Investigation of the nature of changes in the humidity of the surface and inner layers of pine wood during heating in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2021, no. 1 (234): Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, pp. 162–169 (In Russian).

5. Krechetov I. V. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 432 p.

6. Rudak O. G., Snopkov V. B. Changes in the thermal properties of wood during heating in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2 (149): Forest and Woodworking Industry, pp. 161–164 (In Russian).

7. Rudak O. G. Investigation of the phenomenon of thermal and moisture conductivity during the heating of wood in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2020, no. 2 (240): Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, pp. 233–238 (In Russian).

8. Pizhurin A. A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Fundamentals of scientific research in woodworking]. Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2005. 305 p.

9. Rudak O. G., Mazanik N. V., Snopkov V. B. Application of mathematical modeling for determining the duration of initial heating in an unsaturated medium. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2 (158): Forest and Woodworking Industry, pp. 146–149 (In Russian).

10. Sergovsky P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal processing and preservation of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p.

11. Ugolev, B. N. *Deformativnost' drevesiny i napryazheniya pri sushke* [Deformativeness of wood and stress during drying]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 264 p.

12. Rudak O. G. Change in the moisture content of lumber by thickness when heated in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 165–167 (In Russian).

13. Lykov A. V. *Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki* [Heat and mass transfer in drying processes]. Moscow, GosEnergoIzdat Publ., 1956. 463 p.

Информация об авторе

Рудак Оксана Геннадьевна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksrudak@mail.ru

Information about the author

Rudak Oksana Gennadievna – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: oksrudak@mail.ru

Поступила 22.03.2021

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ ПРОГРЕВЕ ДРЕВЕСИНЫ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

В статье описываются результаты исследования механизма прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде. Отмечено, что при начальном прогреве изменяется как температура, так и влажность древесины на поверхности образца. Сделан вывод о том, что при нагревании в древесине возникают два совместно протекающих процесса переноса тепла: теплопроводность, направленная от поверхностных слоев сортимента к внутренним, и влагопроводность во встречном направлении. В данной работе обращается внимание на то, что начальный прогрев древесины относится к нестационарному режиму, поскольку имеет место изменяющаяся во времени и по сечению температура самого образца (поверхность – внутренний слой), а также температура агента обработки. Процесс начального прогрева древесины в ненасыщенной среде характеризуется образованием по толщине образца трех зон: диффузной с влажностью ниже $W_{пг}$; зоны испарения свободной влаги (средняя влажность древесины здесь выше $W_{пг}$); капиллярной зоны с примерно одинаковой по всей толщине влажностью выше $W_{пг}$. Поскольку по сечению (толщине) образца в период прогрева образуется перепад как температур, так и влажности, то общий поток влаги учитывает суммарное действие градиентов влагосодержания и температуры. Из основного закона перемещения влаги и закона теплопроводности для древесины была получена система уравнений, позволяющая моделировать перемещение теплоты и влаги в процессе прогрева в ненасыщенной среде.

Ключевые слова: прогрев, термовлагопроводность, тепломассоперенос, градиент температур, уравнение, теплопроводность.

Для цитирования: Рудак О. Г. Исследование процессов тепломассопереноса при прогреве древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 277–283.

O. G. Rudak
Belarusian State Technological University

RESEARCH OF THE PROCESSES OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING HEATING OF WOOD IN AN UNSATURATED ENVIRONMENT

The article describes the results of a study of the heating mechanism in an unsaturated environment. It is noted that during the initial heating, both the temperature and the moisture content of the wood on the sample surface change. It is concluded that in the process of heating in wood, two jointly occurring processes of heat transfer occur: thermal conductivity directed from the surface layers of the assortment to the inner ones, and moisture conductivity in the opposite direction. In this work, attention is drawn to the fact that the initial heating of wood refers to a non-stationary regime, since there is a time-varying and cross-sectional temperature of the sample itself (surface – inner layer), as well as the temperature of the treatment agent. The process of initial heating of wood in an unsaturated environment is characterized by the formation of three zones along the thickness of the sample: diffuse with a moisture content below W_{lg}; zone of evaporation of free moisture (the average moisture content of wood here is higher than W_{lg}); capillary zone with approximately the same moisture content throughout the thickness above W_{lg}. Since both a temperature difference and a humidity difference are formed over the cross section (thickness) of the sample during the heating period, the total moisture flow takes into account the total effect of the moisture content and temperature gradients. From the basic law of moisture movement and the law of thermal conductivity for wood, a system of equations was obtained that allows simulating the movement of heat and moisture during heating in an unsaturated environment.

Key words: heating, thermal and moisture conductivity, heat and mass transfer, temperature gradient, equation, thermal conductivity.

For citation: Rudak O. G. Research of the processes of heat and mass transfer during heating of wood in an unsaturated environment. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 277–283 (In Russian).

Введение. Технологический процесс камерной сушки пиломатериалов в конвективных камерах периодического действия предусматривает обязательное проведение операции начального прогрева. Основная цель данной операции – доведение температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента и подготовка влагопроводящей системы древесины к последующему испарению влаги.

В современных сушильных камерах операцию прогрева проводят при степени насыщенности обрабатывающей среды меньше 1, т. е. в ненасыщенной среде. В таких условиях прогрев древесины неизбежно сопровождается испарением влаги с ее поверхности и, как следствие, уровнем температуры поверхностных слоев меньше температуры обрабатывающей среды [1]. Данный факт можно объяснить тем, что при прогреве в ненасыщенной среде в древесине возникают два совместно протекающих процесса переноса тепла: теплопроводность, направленная от поверхностных слоев сортимента к внутренним, и влагопроводность во встречном направлении [2, 3]. Таким образом, при начальном прогреве будут изменяться как температура, так и влажность древесины, что повлечет за собой изменение и других физических свойств древесины [4, 5].

Цель работы – изучение явлений тепломассопереноса в древесине при прогреве в ненасыщенной среде.

Задача исследования – установить математическую зависимость перемещения влаги и тепла по сечению пиломатериалов в период начального прогрева от степени насыщенности и температуры обрабатывающей среды, а также начальной температуры и влажности древесины.

Объектом исследования является технология начального прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде.

Предметом исследования выступает древесина как капиллярно-пористый коллоидный материал.

Основная часть. Процесс сушки древесины нагретым воздухом состоит из трех последовательных этапов: нагревания влажных пиломатериалов (2–6% от общей продолжительности сушки), собственно сушки (95–85%) и охлаждения высушенной древесины (2–6%).

Проведенный ряд исследований механизмов начального прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде позволил получить общий характер изменения температурных и влажностных кривых во времени, а также произвести оценку влияния технологических факторов на величину перепадов температуры и влажности по толщине образца.

Таким образом, при прогреве в ненасыщенной среде возникают и совместно протекают следующие явления переноса тепла и массы (влаги) [6]:

1) поглощение тепла от агента обработки поверхностью материала – теплообмен;

2) перемещение тепла по материалу – теплопроводность;

3) испарение влаги с поверхности материала – влагообмен;

4) перемещение влаги по материалу – влагопроводность (при начальной влажности пиломатериалов ниже $W_{пг}$).

Древесина представляет собой многофазную систему. Перенос тепла внутри древесины характеризуется коэффициентами теплопроводности λ (Вт/м·°С) и температуропроводности a (м^2/с), связанными между собой через удельную теплоемкость c (Дж/кг·°С) и плотность ρ (кг/м^3) известным соотношением:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}. \qquad (1)$$

Из теории теплопроводности известно, что тепловой поток q внутри твердого тела пропорционален градиенту температуры $\partial t / \partial x$ в направлении x потока и коэффициенту теплопроводности λ:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}. \qquad (2)$$

Знак минус показывает, что поток направлен в сторону понижения температуры тела.

Режим теплового потока может быть стационарным и нестационарным [7].

Особый интерес представляет нестационарный режим, который характеризуется переменным в пространстве и времени температурным полем в нагреваемом теле. Начальный прогрев древесины относится к нестационарному режиму, поскольку имеет место изменяющаяся во времени и по сечению температура самого сортимента (поверхность – внутренний слой) и температура агента обработки. Если в процессе нагревания прекратилось влияние параметров начального теплового состояния тела, а температура среды сохраняется неизменной, тепловой режим тела называется *регулярным*.

При рассмотрении процессов нагревания в ненасыщенной среде (увлажнитель – диспергированная вода, $\varphi \neq 1$) необходимо раскрыть закономерности распределения температурного поля в поперечном сечении, в первую очередь по толщине пиломатериала (доски).

Для того чтобы найти температурное поле внутри тела в любой момент времени, необходимо

решить дифференциальное уравнение теплопроводности по формуле

$$\gamma c \frac{\partial t}{\partial \tau} = div(\lambda grad t)\sqrt{a^2 + b^2}, \qquad (3)$$

где γ – плотность древесины, кг/м^3; c – удельная теплоемкость древесины, Дж/(кг·°С); λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С); t – температура в произвольной точке тела, °С.

Это уравнение называется дифференциальным уравнением теплопроводности или уравнением Фурье и лежит в основе математической теории теплопроводности [8]. Для решения конкретной задачи необходимо к дифференциальному уравнению присоединить математическое описание частных ее особенностей. Эти дополнительные данные, которые характеризуют конкретное единичное явление, называются краевыми условиями или условиями однозначности.

Для решения данного уравнения необходимо знать распределение температуры внутри тела в начальный момент времени (начальное условие), геометрическую форму тела и закон взаимодействия между окружающей средой и поверхностью тела (граничное условие).

Совокупность начального и граничного условий называется краевыми условиями; начальное условие называется временным краевым условием, а граничное – пространственным краевым условием.

Начальное условие определяется заданием закона распределения температуры внутри тела в начальный момент времени, т. е.

$$t(x, y, z, 0) = f(x, y, z), \qquad (4)$$

где $f(x, y, z)$ – известная функция.

Граничное условие характеризует закон конвективного теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой.

В условиях начального прогрева в ненасыщенной среде имеет место изменяющееся во времени и по сечению образца температурное поле (нестационарный процесс теплообмена), поэтому между поверхностью тела и потоком воздуха условная толщина пограничного слоя будет зависеть не только от скорости агента обработки и его физических свойств, но и от теплофизических свойств тела, а также будет непрерывно изменяться с течением времени. Следовательно, в данном случае необходимо остановиться на граничных условиях третьего рода, когда задаются температурой окружающей среды $t_с$ и законом теплоотдачи между поверхностью тела и окружающей средой – закон Ньютона – Рихмана [8, 11].

По закону сохранения энергии количество тепла $q_п(\tau)$, отданного поверхностью тела, равно количеству тепла, которое подводится изнутри к поверхности тела в единицу времени к единице площади поверхности путем теплопроводности, т. е.

$$q_п(\tau) = \alpha[t_п(\tau) - t_с(\tau)] = -\lambda\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_п, \qquad (5)$$

где $t_п$ – температура поверхности тела, °С; α – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплообмена, Вт/(м^2·К).

Коэффициент теплообмена численно равен количеству теплоты, отдаваемому или воспринимаемому единицей поверхности в единицу времени при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой в один градус. Этот коэффициент учитывает все особенности явлений теплообмена, происходящие между поверхностью тела и окружающей средой. Для общности постановки задачи температура $t_с$ считается переменной, а коэффициент теплообмена приближенно принят постоянным.

Таким образом, граничное условие при начальном прогреве древесины рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha[t_п(\tau) - t_с(\tau)] + \lambda\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_п = 0. \qquad (6)$$

Перепишем последнее уравнение в виде

$$\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_п = -\frac{\alpha}{\lambda} \cdot (t_п - t_с). \qquad (7)$$

Таким образом, получаем математическую формулировку граничных условий третьего рода. В результате решения уравнения (7) можно найти температурное поле, а на основании закона Фурье – соответствующие тепловые потоки.

Дифференциальное уравнение теплоотдачи имеет вид

$$\alpha = -\frac{\lambda}{(t_п - t_с)} \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)_{y=0}. \qquad (8)$$

Полученные уравнения тепломассообмена могут быть использованы при разработке способов компьютерного моделирования процесса начального прогрева древесины в ненасыщенной среде на основе анализа решения системы дифференциальных уравнений в частных производных.

Следует обратить внимание, что при неизотермических условиях в древесине имеет место перенос влаги из мест с большей температурой в места с меньшей [9]. Если образец древесины с влажностью, одинаковой по сечению, поместить в неравномерное температурное поле, в результате чего будет наблюдаться перепад

температур на противоположных сторонах образца, то начнется перераспределение влажности на поверхности и внутри. На участках с меньшей температурой влажность древесины увеличится, а с большей – уменьшится. При этом в образце возникает градиент влажности, под действием которого влага будет стремиться к перемещению в направлении, противоположном направлению потока влаги. Влага по объему сортимента всегда движется в сторону убывающей влажности.

Совместное протекание процессов теплообмена и массообмена называется *тепломассообменом*.

В исследованиях в целях упрощения были приняты некоторые допущения и ограничения. В отношении распространения тепла по поперечному сечению доски древесину можно приравнять к изотропному телу, за исключением случаев, когда предопределено достаточно ориентированное направление теплового потока в радиальном или тангенциальном направлении. Начальная температура древесины считалась одинаковой по всему объему, температура среды постоянной как над всей поверхностью материала, так и во времени. Было принято, что тепло распространяется лишь в направлении по толщине материала, имеющего форму бесконечной пластины.

Известно, что влага, находящаяся в клетках древесины, делится на свободную и связанную [9]:

1) свободная вода – так называется вода, заполняющая полости клеток и удерживаемая в них механически; она первой удаляется из древесины. Это большая часть воды, содержащейся в древесине. Процесс удаления влаги протекает быстро и оказывает незначительное влияние на свойства древесины, требует невысоких температур;

2) связанная вода – содержащаяся в стенках клеток, удерживаемая в основном физико-химическими связями. Изменение ее содержания существенно отражается на большинстве свойств древесины. Ее удаление значительно труднее и требует более высоких температур.

Кроме того, передвижение влаги в древесине происходит как в виде пара, так и в виде жидкости по двум системам водопроводящих путей в древесине: по системе макрокапилляров, заполненных воздухом (полости клеток, разделенные мембранами пор, межклеточные пространства), и по системе микрокапилляров в клеточных оболочках [10].

По макрокапиллярам влага перемещается в виде пара под действием градиента его парциального давления (при прогреве с $W_{нач} > 30\%$). Передвижение влаги по микрокапиллярам в клеточной оболочке носит более сложный характер и происходит как в виде пара, так и в виде жидкости; этот случай передвижения влаги в древесине называется диффузной проницаемостью (при прогреве с $W_{нач} < 30\%$).

Исследования характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины в период прогрева в ненасыщенной среде позволили выявить следующие закономерности. Нагревание пиломатериалов с начальной влажностью $W_{нач} > 30\%$ сопровождается изменением (снижением) влажности поверхностных слоев образца, однако это значение выше влажности предела гигроскопичности $W_{п.г}$. Следовательно, пока влажность на поверхности будет выше $W_{п.г}$, влага в древесине перемещаться не будет. Ее движение начнется только тогда, когда вся свободная влага будет удалена с поверхности. С этого момента между внутренними слоями древесины, где влага находится в полостях клеток, и поверхностью, где влага содержится только в клеточных стенках, появится разность капиллярных давлений. Разность давлений обеспечит подачу свободной влаги к поверхности по мере ее испарения.

При прогреве древесины с начальной влажностью $W_{нач} < 30\%$, а также с $W_{нач} > 30\%$ при высоких температурах и низких значениях степени насыщенности обрабатывающего агента наблюдается снижение влажности поверхностных слоев образца ниже $W_{п.г}$, что однозначно свидетельствует об удалении связанной влаги. Можно считать, что по толщине образца образуются две зоны: наружная, с влажностью ниже предела гигроскопичности, и внутренняя, имеющая влажность выше предела гигроскопичности.

Следует отметить, что в наружной зоне плотность потока влаги пропорциональна перепаду влажности. В научной литературе такую зону принято называть зоной влагопроводности. Во внутренних слоях древесины по-прежнему движение свободной влаги идет за счет разности капиллярных давлений, но только к внутренней границе зоны влагопроводности.

Таким образом, процесс начального прогрева древесины в ненасыщенной среде характеризуется образованием по толщине образца трех зон:

1) диффузная зона, или зона влагопроводности с влажностью ниже $W_{пг}$; скорость передвижения связанной влаги в этой зоне определяется градиентом влажности;

2) зона испарения свободной влаги; средняя влажность древесины здесь выше $W_{пг}$ и постепенно повышается по направлению к центру сортимента;

3) капиллярная зона с примерно одинаковой по всей толщине влажностью выше $W_{пг}$; перемещение свободной влаги происходит в этой зоне под влиянием разности капиллярных натяжений.

Толщина перечисленных зон может заметно изменяться в процессе испарения в зависимости от начальной влажности древесины, ее влагопроводности и капиллярной проницаемости, однако механизм передвижения влаги и общий характер распределения влажности по зонам одинаковы для древесины всех пород. В любом случае интенсивность испарения влаги из поверхностных слоев древесины лимитируется скоростью передвижения влаги в диффузной зоне, где это передвижение зависит от влагопроводности.

Следует обратить внимание на тот факт, что уравнение влагопроводности справедливо лишь в диапазоне гигроскопической влажности, т. е. $W_{др} < 30\%$. Если влажность по всему объему сортимента выше 30%, то, независимо от того, равномерно она распределена по нему или нет, перепад влажности не вызывает влагопереноса.

Однако особым случаем влагопереноса, связанного с перепадом влажности в древесине, является движение свободной влаги под действием сил капиллярного натяжения, появляющихся на границе соприкосновения клеток, как содержащих, так и не содержащих свободную влагу. Капиллярное натяжение ничтожное в полостях клеток, становится весьма заметным при освобождении полостей и заглублении менисков жидкости в микрокапилляры стеной клеток [11, 12].

Влага, имеющая физико-механическую связь, удерживается в капиллярах и в зависимости от режима нагревания может перемещаться в виде жидкости или в виде пара. Внутри влажного материала влага перемещается в направлении потока теплоты. Это создает в высушиваемом материале градиент влагосодержания.

Плотность потока жидкости и пара, проходящих через единицу поверхности, перпендикулярной направлению перемещения, в единицу времени, пропорциональна градиенту влагосодержания в древесине:

$$G_u = -D \cdot \rho_0 \cdot (\frac{\partial u}{\partial n}), \qquad (9)$$

где G_u – плотность потока жидкости и пара, кг/(м^2·с); D – коэффициент диффузии для жидкости и пара; ρ_0 – плотность абсолютно сухого материала, кг/м^3; $\partial u / \partial n$ – градиент влагосодержания, %/м. Знак минус указывает, что в направлении нормали влагосодержание уменьшается.

Данное соотношение является основным законом перемещения влаги в древесине при прогреве как в виде пара, так и в виде жидкости при наличии градиента влагосодержания.

Поскольку в процессе прогрева по толщине древесины образуется перепад температур, то также будет наблюдаться и поток влаги, обусловленный температурным градиентом, плотность потока которого пропорциональна этому градиенту:

$$G_t = -D \cdot \rho_0 \cdot \delta \cdot (\frac{\partial t}{\partial n}), \qquad (10)$$

где δ – термоградиентный коэффициент, 1/°С; $\partial t / \partial n$ – градиент температуры, °С/м.

Данное уравнение является выражением закона термовлагопроводности и описывает массоперенос при прогреве древесины с $W_{нач} > 30\%$.

Общий поток влаги равен сумме потоков:

$$G = G_u + G_t = -D \cdot \rho_0 \cdot (\frac{\partial u}{\partial n}) - D \cdot \rho_0 \cdot \delta \cdot (\frac{\partial t}{\partial n}). \qquad (11)$$

Уравнение (11) представляет собой обобщенный закон перемещения влаги в древесине с $W_{нач} < 30\%$.

При противоположных направлениях градиента влагосодержания и градиента температуры направление суммарного потока влаги зависит от соотношения сил влагопроводности $\partial u / \partial n$ и термовлагопроводности $\delta \cdot (\partial t / \partial n)$ [12].

Например, вследствие прогрева материала с $W_{нач} < 30\%$ с поверхности испаряется влага и внутри высушиваемого материала возникнет градиент влагосодержания $\partial u / \partial n$, направленный от поверхности к середине материала, а вследствие термовлагопроводности – градиент термовлагосодержания $\delta \cdot (\partial t / \partial n)$, направленный от середины к поверхности материала. В результате возникнут два противоположных направления потока влаги – за счет влагопроводности G_u к поверхности, и за счет термовлагопроводности G_t – к середине.

При термовлагопроводности движение влаги всегда направлено в сторону понижения температуры. А влагопроводность обусловливает движение связанной влаги под действием градиента влагосодержания в сторону его понижения (т. е. от центра к поверхности).

При большей интенсивности влагопроводности по сравнению с термовлагопроводностью влага будет перемещаться от внутренних слоев материала к поверхностным, и термовлагопроводность будет препятствовать перемещению потока влаги.

При большей интенсивности термовлагопроводности влага будет перемещаться по направлению потока теплоты, т. е. в направлении увеличения влагосодержания – от поверхности материала вглубь, а влагопроводность будет снижать поток влаги.

Поскольку поток влаги от термовлагопроводности будет переносить с собой и дополнительную теплоту в направлении основного теплового потока, основной закон теплопроводности для случая нагревания древесины выражается уравнением:

$$q = -a \cdot c \cdot \rho \cdot (\frac{\partial t}{\partial n}) - i \cdot G, \qquad (12)$$

где $\partial t / \partial n$ – градиент температуры, °С/м; a – коэффициент температуропроводности, м^2/с; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·ºС); ρ – плотность древесины, кг/м^3, iG – количество теплоты, переносимое влагой, кДж·кг/(м^2·с); i – энтальпия жидкости (влаги), кДж; G – плотность потока влаги, кг/(м^2·с).

Из основного закона перемещения влаги и закона теплопроводности для древесины, содержащей связанную и свободную влагу, получают систему уравнений, моделирующих перемещение теплоты и влаги по сечению сортимента.

С учетом зависимости от температуры и влажности коэффициентов диффузии D, теплопроводности λ, термоградиентного коэффициента δ получают систему нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. При допущении постоянства этих коэффициентов можно использовать закон переноса массы (влаги) и преобразование Остроградского – Гаусса для получения дифференциального уравнения переноса во времени в следующем виде:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = D \cdot (\nabla^2 \cdot u + \delta \cdot \nabla^2 \cdot t) + \varepsilon \cdot (\frac{\partial u}{\partial \tau}), \qquad (13)$$

где ε – коэффициент, характеризующий долю влаги, перемещающейся в виде пара (критерий внутреннего испарения или фазового превращения).

При отсутствии внутреннего испарения (ε = 0) влага перемещается в виде жидкости, при ε = 1 изменение влагосодержания в древесине происходит только за счет испарения жидкости и конденсации пара при отсутствии переноса жидкости.

Для зональной системы расчета тепломассопереноса дифференциальные уравнения переноса имеют вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t + \varepsilon(\frac{r}{c}) \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau}; \qquad (14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = D \cdot \nabla^2 \cdot u + D \cdot \delta \cdot \nabla^2 \cdot t, \qquad (15)$$

где t – температура тела, °С; u – удельное влагосодержание, %; c – удельная теплоемкость древесины, Дж/(кг·°С); r – удельная теплота испарения, Дж/кг; $\partial u / \partial \tau$ – изменение влагосодержания в элементарном объеме в единицу времени вследствие испарения или конденсации внутри материала; ∇^2 – оператор Лапласа.

Эти два уравнения полностью описывают внутренний тепло- и массоперенос, и их решение при условии постоянства массообменных характеристик позволит теоретически рассчитать поля температуры и влагосодержания влажного материала.

Заключение. Технологический процесс начального прогрева древесины в ненасыщенной среде сопровождается наличием перепадов влажности и температуры между поверхностными и внутренними слоями образца, что является причиной перемещения влаги по толщине.

Поскольку по сечению (толщине) образца в период прогрева образуется как перепад температур, так и влажности, то общий поток влаги учитывает суммарное действие градиентов влагосодержания и температуры.

Для математического описания процессов тепло- и массопереноса необходимо условно разделить прогреваемый пиломатериал на зоны, в зависимости от их влажности. Нагревание влажных пиломатериалов в ненасыщенной среде происходит при совместном действии явлений теплопроводности и теплообмена, а также влагопроводности и влагообмена.

С учетом зональной системы расчета тепломассопереноса дифференциальные уравнения полностью описывают внутренний тепло- и массоперенос, что позволяет теоретически рассчитать поля температуры и влагосодержания древесины во времени в процессе начального прогрева.

Список литературы

1. Рудак О. Г., Короб А. Ю. Исследование характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 162–169.

2. Рудак О. Г., Снопков В. Б. Изменение тепловых свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 161–164.

3. Рудак О. Г. Исследование явления термовлагопроводности при прогреве древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2 (234). С. 233–238.

4. Рудак О. Г. Изменение влажности пиломатериалов по толщине при прогреве в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 165–167.

5. Рудак О. Г, Гуз Ю. А., Снопков В. Б. Исследование напряженно-деформированного состояния древесины при прогреве в ненасыщенной среде // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. Гродно: ГрГУ, 2011. С. 30–31.

6. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. М.: ГосЭнергоИздат, 1956. 463 с.

7. Шубин Г. С. О коэффициентах переноса тепла и влаги в древесине // Деревообраб. пром-сть. 1989. № 8. С. 10–13.

8. Чудинов Б. С. Теория тепловой обработки древесины. М.: Наука, 1968. 255 с.

9. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.

10. Шубин Г. С. Сушка и тепловая обработка древесины. М.: Лесная пром-сть, 1990. 335 с.

11. Лыков А. В. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. М.: Энергия, 1973. 247 с.

12. Шубин Г. С. О термовлагопроводности коллоидных капиллярно-пористых тел // Материалы VI Всесоюзной конференции по тепломассообмену. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова, 8–10 октября 1980 г. Минск, 1980. Т. VII. С. 18–25.

References

1. Rudak O. G., Korob A. Yu. Investigation of the nature of changes in the humidity of the surface and inner layers of pine wood during heating in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2021, issue 1 (240): Forestry. Nature Management. Processing of Rrenewable Resources, pp. 162–169 (In Russian).

2. Rudak O. G., Snopkov V. B. Changes in the thermal properties of wood during heating in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2 (149): Forest and Woodworking Industry, pp. 161–164 (In Russian).

3. Rudak O. G. Investigation of the phenomenon of thermal and moisture conductivity during the heating of wood in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2020, no. 2 (234): Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, pp. 233–238 (In Russian).

4. Rudak O. G. Change in the moisture content of lumber by thickness when heated in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 165–167 (In Russian)

5. Rudak O. G., Guz Yu. A., Snopkov V. B. Study of the stress-strain state of wood when heated in an unsaturated environment. *Energo- i materialosberegayushchiye ekologicheski chistyye tekhnologii: tez. dokl. IX Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Energy-and material-saving, environmentally friendly technologies. IX international scientific and technical conference]. Grodno, 2011, pp. 30–31 (In Russian).

6. Lykov A. V. *Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki* [Heat and mass transfer in drying processes]. Moscow, GosEnergoIzdat Publ., 1956. 463 p.

7. Shubin G. S. On the coefficients of heat and moisture transfer in wood *Derevoobrabatyvayushaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1989, no. 8, pp. 10–13 (In Russian).

8. Chudinov B. S. *Teoriya teplovoy obrabotki drevesiny* [Theory of wood heat treatment]. Moscow, Nayka Publ., 1968. 255 p.

9. Sergovsky P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal processing and preservation of wood] Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ. 1987. 360 p.

10. Shubin G. S. *Sushka i teplovaya obrabotka drevesiny* [Drying and heat treatment of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 335 p.

11. Lykov A. V. *Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki* [Methods of determining thermal conductivity and thermal conductivity]. Moscow, Energia Publ., 1973. 413 p.

12. Shubin G. S. On Thermal Conductivity of Colloidal Capillary-Porous Bodies. *Materialy VI Vsesoyuznoy konferentsii po teplomassoobmenu* [Materials of the VI All-Union Conference on Heat and Mass Exchange]. Minsk, 1980, vol. 7, pp. 18–25 (In Russian).

Информация об авторе

Рудак Оксана Геннадьевна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksrudak@mail.ru

Information about the author

Rudak Oksana Gennadievna – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: oksrudak@mail.ru

Поступила 22.03.2021

УДК 674.812:674.836

И. Г. Федосенко
Белорусский государственный технологический университет

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛ

Целью исследования стала оценка возможности получения гранул из коры деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, на прессах-грануляторах и исследование их физико-механических характеристик.

Для изучения выбраны преобладающие породы древесины – сосна и береза. Из предварительно измельченной до размеров менее 5 мм и высушенной до 30% коры были изготовлены гранулы диаметром 6 мм. После охлаждения в комнатных условиях, гранулы испытывали на соответствие ISO 17225-2 по влажности, зольности, крошимости и содержанию мелкой фракции.

Испытания показали, что зольность гранул из коры сосны, реализуемой для мульчирования, незначительно превысила допустимую по нормам, однако березовая кора, отобранная с технологического сырья, которое хранилось на грунтовом основании, позволила получить гранулы с содержанием золы на порядок больше нормированного значения. Крошимость гранул из коры сосны также несколько большая, чем нормативная для древесных гранул.

Тем не менее кора деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, вполне может заменить древесину в производстве гранул. Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки нормативных документов на гранулы из коры и специализированного технологического процесса.

Ключевые слова: кора, гранулы, пресс, крошимость, плотность, зольность, влажность.

Для цитирования: Федосенко И. Г. Оценка возможности использования коры деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, для производства гранул // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозво, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 284–289.

I. G. Fedosenko
Belarusian State Technological University

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING THE BARK OF TREES GROWING IN THE REPUBLIC OF BELARUS FOR THE GRANULATION

The aim of the study was to assess the possibility of obtaining granules from the bark of trees growing in the Republic of Belarus on granulating presses and to study their physical and mechanical characteristics.

Pine and birch were selected as the most abundant wood species. Granules with a diameter of 6 mm were made from the pre-crushed bark to a size of less than 5 mm and dried to 30%. After cooling at room conditions, the pellets were tested for compliance with ISO 17225-2 in terms of humidity, ash content, crumbling and fines content.

Tests have shown that the ash content of pellets from the bark of pine intended for mulching slightly exceeded the permissible by the standards, however, the birch bark, selected from the technological raw materials that was stored on a soil base, made it possible to obtain pellets with an ash content an order of magnitude higher than the normalized value. The crumbling of pine bark pellets is also somewhat higher than the standard for wood pellets.

Nevertheless, the bark of trees growing in the Republic of Belarus may well replace wood in the production of pellets. The data obtained indicate the need to develop regulatory documents for bark granules and a specialized technological process.

Keywords: bark, granules, press, crumbling, density, ash content, moisture.

For citation: Fedosenko I. G. Evaluation of the possibility of using the bark of trees growing in the Republic of Belarus for the granulation. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 284–289 (In Russian).

Введение. Отходы деревообрабатывающей промышленности в виде древесной коры не учитываются в балансе предприятия и мало востребованы. Кора составляет 6–25% объема ствола, поэтому вовлечение в товарный объем отходов окорки древесины целесообразно. Проблема переработки древесной коры в энергоносители остается нерешенной и актуальной во всем мире. Древесная кора может быть эффективно использована в решении энергетических проблем,

однако применение ее в качестве основы для производства энергоэффективного топлива возможно при разработке новых подходов и технологий. Основная часть отходов в виде древесной коры остается практически невостребованной, скапливается на территориях предприятий, вывозится в отвалы, свалки, что ухудшает экологическую и пожароопасную обстановку региона. В то же время проблема утилизации древесной коры при больших запасах остается нерешенной, так как процесс ее подготовки для дальнейшего эффективного использования является более трудоемким, по сравнению с мягкими древесными отходами (стружка, опилки). Из-за особенностей строения, сложности технологической подготовки к утилизации древесная кора пока не нашла широкого применения, хотя имеет перспективные направления использования.

Сжигание коры может быть источником энергии. На энергетическое использование коры деревьев в основном влияет ее зольность, которая намного выше, чем у древесины. J. M. Harkin и J. W. Rowe [1] показали, что средняя теплотворная способность 10 т полностью высушенной коры равна теплотворной способности 7 т угля. Теплотворная способность коры на килограмм аналогична древесине и составляет от 16,20 до 16,23 МДж/кг [2–4]. Отходы коры, производимые в большом количестве, обычно имеют высокое содержание влаги, что значительно снижает эффективность использования энергии, поскольку большая часть энергии требуется для испарения содержащейся влаги. Кора с чистым содержанием влаги более 60% не может быть эффективно сожжена [5]. При использовании коры в виде брикетов ее обычно смешивают с соломой и опилками. Добавление воска увеличивает прочность брикетов из биомассы, но также может снизить содержание влаги. Наиболее важными характеристиками брикетов являются высокая плотность и компактность (от 1,0 до 1,3 г/см^3) [6]. Чем больше коры в смеси с древесиной, тем выше зольность; лучшим классом качества была 10%-ная смесь с 0,7%-ной зольностью [7].

Мелехов и другие [8] предложили термомодификацию бересты для изменения физико-механических свойств, что значительно упрощает дальнейшую технологию по превращению ее в прессованное топливо.

L. Gil [9] предложил использовать отходы и пыль, образующиеся при переработке пробки, для выработки энергии, поскольку они имеют высокую теплотворную способность.

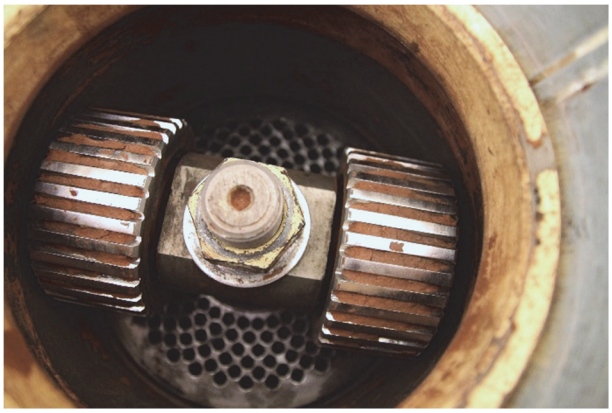
I. Obemberger и G. Thek [10] обнаружили, что на плотность прессованного топлива, содержание золы и воды, общую и чистую теплотворную способность и истирание влияет содержание C, H, N, S, Cl, K, а также вредных веществ Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, As и Hg.

Основная часть. Основной целью исследования стала оценка возможности получения гранул из коры деревьев на прессах-грануляторах. Определение и идентификация физических и механических характеристик гранул из коры деревьев, произрастающих на территории Республики Беларусь, является основной задачей.

Главным представителем хвойных пород в Республике Беларусь является сосна (54,8%), а лиственных – береза (18,8%), остальные породы представлены меньше в объеме лесного фонда Республики Беларусь. Так, по данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, ель составляет всего 11%, ольха черная – 8,2%, дуб – 2,9%, осина – 2,2% [11]. Это позволило выделить сосну и березу как основные породы для исследований.

Получение древесных гранул, как объекта исследования, осуществляли на прессе-грануляторе SKJ-200 с плоской матрицей, внешний вид которого представлен на рис. 1.

а



б

Рис. 1. Пресс-гранулятор:
а – внешний вид; *б* – камера прессования

Диаметр отверстий в матрице составляет 6 мм, по этой причине кору предварительно подвергали измельчению до размеров менее 5 мм.

Внешний слой коры (корка) выбранных пород обладает некоторой хрупкостью и малым содержанием волокон [12], поэтому показатели механических свойств такого материала невысоки, но это отличный потенциал для измельчения. Измельчение проводили в роторном ножевом измельчителе бытового назначения.

В качестве источника коры сосны была использована товарная мульча с фракцией 0,5–20 мм. В качестве источника коры березы – технологическое сырье, хранившееся на грунтовом основании.

Влажность коры была доведена до 30%. Как показали пробные эксперименты, именно эта влажность наиболее подходила для устойчивого процесса гранулирования и лучшей целостности гранул из коры.

Перед прессованием кора подвергалась тепловой обработке водяным паром, образующимся из влаги, запасенной в коре. Нагрев с выделением насыщенного пара происходил при использовании микроволнового излучения, что ускоряло процесс подготовки и сводило к минимуму продолжительность термического разложения элементов коры. Подготовленный таким образом измельченный материал без добавления сторонних связующих засыпали в пресс-гранулятор с пердварительно разогретой парой прессования (вальцы – матрица). При этом следили за постоянным уровнем коры на матрице.

Благодаря лигнину и воскоподобным компонентам корки сосны получились довольно устойчивые гранулы. Они имели глубокий темно-коричневый цвет и характерный для качественного продукта блеск, что заметно на фото (рис. 2, а).

Гранулы из коры березы выходили более рыхлыми, и цвет их был не настолько глубокий, поверхность получилась матовой (рис. 2, б).

После выдержки в открытой емкости при комнатной температуре до охлаждения гранулы испытывали по EN Plus v3 (ISO 17225-2 [13]) на влажность, зольность, крошимость и содержание мелкой фракции. Для этого в конце октября 2020 г. во время стажировки на ИООО «SWOODS Export» в г. Борисове автор совместно с сотрудниками предприятия провели испытания в современной, полностью укомплектованной заводской лаборатории, контролирующей качество топливных гранул, производимых на предприятии. Предприятие ИООО «SWOODS Export» является крупнейшим в Республике Беларусь производителем топливных гранул из хвойных пород древесины.

а

б

Рис. 2. Гранулы из коры:
а – сосны; *б* – березы

Результаты определения физико-механических свойств гранул из коры представлены таблице.

Свойства гранул из коры

Порода древесины	Влажность, %	Зольность, %	Крошимость, %	Содержание мелочи, %
Сосна	10,9	2,31	94,7	0,1
Береза	4	16,54	–	–

Зольность определяли путем предварительного измельчения гранул в ступе и сжигания навески в 1 г в фарфоровом тигле при температуре (550 ± 10)°С. Контроль за полнотой сжигания осуществляли взвешиванием пробы через каждые 30 мин до тех пор, пока ее масса не переставала меняться или изменение между смежными взвешиваниями не становилось менее 0,5 мг. Значение зольности определяли как

отношение массы минерального остатка после сжигания к массе навески до сжигания, выраженное в процентах.

По результатам испытаний (рис. 3) зольность гранул из коры сосны составила 2,31%, что превышает на 0,31% допустимое по ISO 17225-2 значение (2%) и является обнадеживающим результатом для потенциального использования коры хвойных деревьев. Тот же показатель для коры березы намного превысил допустимое значение и лишний раз показал, что использовать кору без предварительной мойки не стоит. Условия хранения источника коры березы способствуют дополнительному приобретению минеральных включений, увеличивающих зольный остаток.

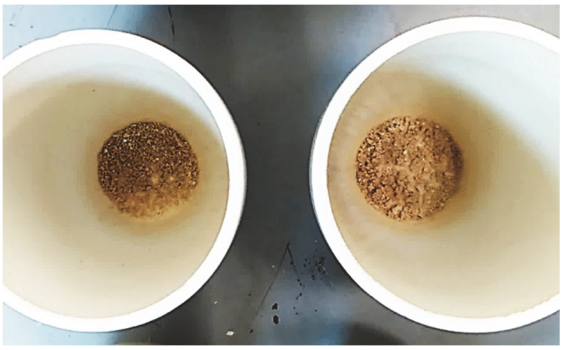


Рис. 3. Зольный остаток после сжигания гранул из коры сосны (слева) и березы (справа)

Как известно из предыдущих исследований, значения теплоты сгорания коры превышают значения для породы древесины, с которой кора заготовлена (18–23 МДж/кг) [2, 14]. Этот факт может свести на нет недостаток по зольности.

Содержание мелочи было целесообразно определять только на внешне устойчивых гранулах, т. е. гранулах из коры сосны. Способом просеивания через сито с отверстиями 3,15 мм было установлено, что гранулы из коры сосны почти не имели в своем составе слишком мелкую для использования в качестве топлива фракцию с размером частиц менее 3,15 мм, которых оказалось всего 0,1%.

Устойчивость гранул к механическим воздействиям – крошимость, определялась в специальном приборе (тамблере) согласно ISO 17831-1 при гравитационном ротационном перемешивании в призмоподобной емкости в течение 10 мин.

Оказалось, что после необходимого цикла в гранулах из коры сосны появилась слишком мелкая для использования в качестве топлива фракция с размером частиц менее 3,15 мм, так что годных для топлива гранул осталось 94,7%. Это превышает на 2,8% допустимое по ISO 17225-2 значение (97,5%) и является также неплохим результатом для потенциального использования коры хвойных деревьев в качестве сырья для гранул.

Дополнительно проверена водостойкость гранул. Для этого было отобрано по одной единице гранул из коры и древесины сосны. При замачивании в течение 3 сут. при комнатной температуре (20 ± 5)°С в дистиллированной воде выяснилось, что гранулы из коры гораздо более устойчивы к повышенной влажности (рис. 4).

а *б* *в*

Рис. 4. Целостность гранул при выдержке в воде:
а – сутки; *б* – двое суток;
в – трое суток

Так, целостность гранулы из коры сохранялась, даже когда гранула из древесины полностью распалась на частицы.

Заключение. Исследования показали, что кора деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, вполне может заменить древесину в производстве гранул, однако требуется дополнительная разработка нормативных документов, регламентирующих физико-механические свойства такой продукции.

Гранулы из коры могут иметь совсем небольшую зольность при предварительной мойке поверхности неокоренной древесины и хранении коры в специальных бункерах или на поверхности, не загрязняющей кору при хранении. Некоторая хрупкость гранул из коры обусловлена слабоволокнистой структурой корки и непроработанными режимами подготовки и прессования этого материала.

Требуется дальнейшее изучение зависимости физико-механических свойств гранул из коры от начальной влажности, температуры и степени сжатия в фильере. Также интерес представляет изучение смеси коры с древесиной при производстве гранул, так как для получения гранул с зольностью и прочностью по ISO 17225-2 потребуется добавление измельченной древесины.

Список литературы

1. Harkin J. M., Rowe J. W. Bark and its possible uses. USDA. Forest Service, Research note, FPL-091. Forest Products Laboratory. Мэдисон, 1971. 56 с.

2. Corder S. E. Properties and uses of bark as an energy source. Research paper 31, Oregon State University, School of Forestry, Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon 97331, 1976. 21 с.

3. Pecznik P., Körmendi P. (szerk.) Hőenergia Gazdálkodás- biomassza Tüzelés, FM Műszaki Int. 1997, Gödöllő. Венгрия, 2002. С. 23–39 (Венгерский).

4. Dibdiakova J., Gjølsjø S., Wang L. Solid biofuels from forest – fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce biomass in some geographical locations in South Norway. Отчет Norwegian forest and landscape institute. 2014. №. 14/08. 44 с.

5. Molnár S. Faanyagismeret. Венгрия, Будапешт: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, 2004. 471 p. (Венгерский).

6. Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking. University of Oulu, Control Engineering Laboratory. 2005. Отчет A, № 27. 29 с.

7. Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (Pinus sylvestris L.) pellets. Biomass and bioenergy. 2011. No. 35. P. 3342–3349.

8. Мелехов В. И., Тюрикова Т. В., Пономарева Н. Г. Энергетический потенциал древесной коры в программе ресурсосбережения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 9–3 (20–3). С. 106–110.

9. Gil L. Cork powder waste: an overview. Biomass and Bioenergy. 1997. No. 13 (I/2). P. 59–61.

10. Obemberger I., Thek G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior // Biomass and Bioenergy. 2004. 27 (6). С. 653–669.

11. Лесной фонд: Оффициальная страница Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: https://mlh.by/our-main-activites/forestry/forests/ (дата обращения: 22.03.2021).

12. Melin S. Bark as feedstock for production of wood pellets. Wood pellett associacion of Canada, 2008. URL: http://www.pellet.org/images/2008-12-11_Bark_as_feedstock_for_Production_of_Wood_Pellets_Report_December_2008.pdf (дата обращения: 22.03.2021).

13. ISO 17225-2 Solid biofuels – Fuel specifications and classes. Part 2: Graded wood pellets. 16 с.

14. Németh K., Molnár S. Az akácfa égésmelegének és fűtőértékének vizsgálata. Faipar. 1983. № 33 (3). С. 78–79 (Венгерский).

References

1. Harkin J. M., Rowe J. W. Bark and its possible uses. USDA. Forest Service, Research note, FPL-091, Forest Products Laboratory, 1971. 56 p.

2. Corder S.E. Properties and uses of bark as an energy source. Research paper 31, Oregon State University, School of Forestry, Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon 97331, 1976. 21 p.

3. Pecznik P., Körmendi P. (szerk.) Hőenergia Gazdálkodás- biomassza Tüzelés (Thermal energy management and biomass burning), FM Műszaki Int. 1997, Gödöllő, Hungary, 2002, pp. 23–39 (In Hungarian).

4. Dibdiakova J., Gjølsjø S., Wang L. Solid biofuels from forest – fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce bi-omass in some geographical locations in South Norway. Report from Norwe-gian forest and landscape institute, 2014, no. 14/08. 44 p.

5. Molnár S. Faanyagismeret («Wood material science»). Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, 2004. 471 p. (In Hungarian).

6. Baroth R. Literature review of the latest development of wood debark-ing. University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005, Report A, no. 27. 29 p.

7. Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (Pinus sylvestris L.) pellets. Biomass and bio-energy, 2011, no. 35, pp. 3342–3349.

8. Melekhov V. I., Tyurikova T. V., Ponomareva N. G. Energy potential of tree bark in the resource conservation program. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research in the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 9–3 (20–3), pp. 106–110 (In Russian).

9. Gil L. Cork powder waste: an overview. Biomass and Bioenergy, 1997, no. 13 (I/2), pp. 59–61.

10. Obemberger I., and Thek G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combus-tion behaviour. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 27 (6), pp. 653–669.

11. Forest Fund: Official page of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Available at: https://mlh.by/our-main-activites/forestry/forests/ (accessed 22.03.2021).

12. Melin S. Bark as feedstock for production of wood pellets. Wood pellett associacion of Canada, 2008. Availible at: http://www.pellet.org/images/2008-12-11_Bark_as_feedstock_for_Production_ of_Wood_Pellets_Report_December_2008.pdf (accessed 22.03.2021).

13. ISO 17225-2: 2014. Solid biofuels – Fuel specifications and classes. Part 2: Graded wood pellets. 2014. 16 p.

14. Németh K., Molnár S. Az akácfa égésmelegének és fűtőértékének vizsgálata. Faipar, 1983, no. 33 (3), pp. 78–79 (In Hungarian).

Информация об авторе

Федосенко Иван Гавриилович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Information about the author

Fedosenko Ivan Gavriilovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Поступила 22.03.2021

УДК 674.048

О. К. Леонович, Н. А. Мазало
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ, ПРОПИТАННОЙ ВОДОРАСТВОРИМЫМИ И МАСЛЯНЫМИ СРЕДСТВАМИ, В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ СЛУЖБЫ

В статье разработана методика ускоренного старения древесины в климатической камере, моделирующая условия эксплуатации в определенных классах условий службы древесины, пропитанной защитным средствами с подтверждением сохранения защитных свойств по отношению к плесневым, деревоокрашивающим и дереворазрушающим грибам. Предложена программа по имитации в лабораторных условиях XIV–XVIII классов службы древесины согласно ГОСТ 20022.2–2018. Показано, что в этих условиях наиболее эффективным защитным средством по отношению к плесневым, деревоокрашивающим и дереворазрушающим грибам является сланцевое масло. Однако в сланцевом масле содержится ряд токсичных веществ с неприятным запахом.

Установлено, что водорастворимое неорганическое средство на основе медных триазолов в XV, XVII и XVIII (тропический климат) классах службы по защищающей способности классифицировано как эффективное, в XVI и XVIII (субтропический климат) – неэффективное.

Защитное водорастворимое неорганическое средство на основе медных триазолов и содержащее аммонийные группы в XV–XVIII классах службы по защищающей способности, согласно результатам испытаний, классифицировано как эффективное. Подтверждена долговечность древесины, пропитанной защитными средствами после 64 циклов испытаний в климатической камере, соответствующая 8-летнему сроку эксплуатации.

Ключевые слова: древесина, антисептики, биостойкость, состав, климатология.

Для цитирования: Леонович О. К., Мазало Н. А. Исследование долговечности древесины, пропитанной водорастворимыми и масляными средствами, в различных условиях службы // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021, № 2 (246). С. 290–297.

O. K. Leonovich, N. A. Mazalo
Belarusian State Technological University

RESEARCH OF THE DURABILITY OF WOOD IMPREGNATED WITH WATER-SOLUBLE AND OILY PRODUCTS IN VARIOUS CONDITIONS OF SERVICES

The article developed a technique for accelerated aging of wood in a climatic chamber, which simulates the operating conditions in certain classes of service conditions of wood impregnated with protective agents with confirmation of the preservation of protective properties in relation to mold, wood-coloring and wood-destroying fungi. A program for imitation in laboratory conditions of XIV–XVIII classes of wood service in accordance with GOST 20022.2–2018 has been proposed. It has been shown that under these conditions, the most effective protective agent against mold, wood-coloring and wood-destroying fungi is shale oil. However, shale oil contains a number of toxic substances with an unpleasant odor.

It has been established that a water-soluble inorganic agent based on copper triazoles in the XV, XVII and XVIII (tropical climate) service classes according to the protective ability is classified as effective, in the XVI and XVIII (subtropical climate) – ineffective.

A protective water-soluble inorganic agent based on copper triazoles and containing ammonium groups in the XV–XVIII service classes in terms of protective ability, according to test results, is classified as effective. The durability of wood impregnated with protective agents has been confirmed after 64 test cycles in a climatic chamber, corresponding to an 8-year service life.

Key words: wood, antiseptics, biostability, composition, climatology.

For citation: Leonovich O. K., Mazalo N. A. Research of durability of wood impregnated with water-soluble and oily products in various conditions of services. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246). pp. 290–297 (In Russian).

Введение. Древесина – натуральный экологический строительный материал, обладающий рядом положительных качеств – легкий, прочный, хорошо проводит тепло, выдерживает статические и динамические нагрузки, легко поддается механической обработке. Однако как строительный

материал древесина обладает и недостатками. Как естественный объект, она подвержена воздействию не только физических и химических, но и биологических факторов.

Основной причиной разрушения древесины является ее поражение плесневыми, деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами (в средних широтах на долю поражений грибами приходится около 90% всех биоповреждений древесины). Древесина, как натуральный объект, богатый питательными веществами, такими как углеводы, является благоприятной средой для развития грибов. Ферменты, выделяемые различными видами грибов, могут разрушать как полисахаридный комплекс клеточных стенок, так и лигнин, превращая углеводные и неуглеводные компоненты в простые соединения, доступные для роста и развития грибов, вследствие чего эффективное применение древесины и материалов из нее зависит от ее биостойкости. Биостойкость – это способность древесины сопротивляться действию организмов, вызывающих ее биоразрушение. Различают биостойкость естественную (натуральную) и приобретенную. Если натуральная биостойкость зависит в основном от породы древесины, ее плотности, возраста, климатических и географических условий роста, а также условий ее хранения и эксплуатации, то приобретенная биостойкость главным образом зависит от качества и количества введенного в древесину защитного вещества.

Вопросу биозащиты древесины в научных работах уделяется большое внимание [1–10].

Одной из наиболее важных задач в настоящее время является именно увеличение биостойкости древесины от поражения плесневыми, деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами экологически безопасными антисептиками. Использование хороших защитных средств при тщательной пропитке увеличивает приобретенную биостойкость древесины, тем самым дает возможность продлить срок службы сооружений с применением древесины в несколько раз.

Целью исследований является разработка методики ускоренного старения древесины в климатической камере, моделирующей условия эксплуатации в определенных классах условий службы древесины, пропитанной защитным средствами, с подтверждением сохранения защитных свойств по отношению к грибам.

Поставлены задачи по разработке программы по имитации в лабораторных условиях ускоренного старения образцов древесины сосны, пропитанных масляным и водорастворимыми средствами, содержащими окись меди и триазолы. Предметом исследования являются: масло сланцевое, защитное водорастворимое неорганическое средство на основе медных соединений и триазолов и защитное водорастворимое неорганическое средство на основе медных триазолов, содержащее аммонийные группы.

Объектом исследований послужила древесина сосны, пропитанная масляным и водорастворимыми антисептиками на основе медных соединений с триазолами и аммонийными группами.

Основная часть. Под защищающей способностью защитного средства понимают способность придавать объекту защиты свойство противостоять факторам и биологическим агентам разрушения (ГОСТ 20022.1–90) [11], т. е. обеспечивать защиту древесины от разрушения в реальных условиях. Эта способность связана с соединением защитного агента с клетками древесины и длительностью сохранения защиты в реальных условиях эксплуатации, так называемым вымыванием.

Основным действующим нормативным документом на данный момент, устанавливающим параметры защищенности объектов от биологического разрушения в пределах каждого класса условий службы, является ГОСТ 20022.0–2016 [12]. Однако на данный момент на рынке представлено много новых защитных средств, не входящих в данный ТНПА. Но основополагающего документа с обязательными требованиями по защите древесины, эксплуатируемой в различных классах службы, не существует.

Согласно ГОСТ 20022.2–2018 [13], условия службы древесины по скорости расконсервирования и уязвимости подразделяются на XVIII классов. Классы условий службы опираются на данные по интенсивности вымывания, источнику или характеру увлажнения древесины, периоду активного биологического разрушения и объекту применения изделий, пропитанных защитными средствами.

Для проведения испытаний было выбрано три современных защитных средства:

1) водорастворимое неорганическое средство, содержащее невымываемый антисептик на основе медных триазолов и аммонийные группы, – ЗС1;

2) водорастворимое неорганическое средство, содержащее невымываемый антисептик на основе медных триазолов, – ЗС2;

3) масло сланцевое – МС.

Испытания проводили в XIV–XVIII классах условий службы по ГОСТ 20022.2–2018 [13], указанных в табл. 1.

Для имитации XIV–XVIII классов условий службы была разработана программа, учитывающая источник или характер увлажнения, в том

числе особенности климатических температур (табл. 2).

Таблица 1

Классификация условий службы древесины

Класс службы	Вымывание	Источник или характер увлажнения
XIV	Сильное	Теплая вода металлургических и других заводов и электростанций
XV		Речная и болотная вода в условиях умеренного климата
XVI		Речная и болотная вода в условиях тропического климата
XVII		Морская вода в условиях умеренного климата
XVIII		Морская вода в условиях тропического и субтропического климата

Таблица 2

Классификация условий службы древесины

Класс службы	Климатические условия	Температурный режим, °С, и время инкубирования, ч
XIV	Комнатная температура	20–24°С
XV, XVII	Умеренный климат	30°С в течение 6 ч 2°С в течение 2 ч –25°С в течение 3 ч 15°С в течение 7 ч –5°С в течение 6 ч
XVI, XVIII	Тропический климат	20°С в течение 6 ч 35°С в течение 2 ч 20°С в течение 3 ч 35°С в течение 7 ч 28°С в течение 6 ч
XVIII	Субтропический климат	20°С в течение 6 ч 2°С в течение 2 ч 20°С в течение 3 ч 35°С в течение 7 ч 28°С в течение 6 ч

Для создания условий, имитирующих XIV класс условий службы, готовили раствор, содержащий аммиак, известь (концентрация до 13–20 г/л), сульфаты железа (концентрация 150–300 г/л), сульфиды, хлориды (концентрация 10–15 мг/л), масло (концентрация 10–100 мг/л).

Для имитации условий XV и XVI классов службы использовалась болотная вода.

При проведении испытаний, которые имитировали XVII–XVIII классы условий службы древесины готовили раствор морской соли (35 г на 1 л воды).

При проведении испытаний по определению эффективности защитного средства по отношению к плесневым и деревоокрашивающим грибам по ГОСТ 30028.4–2006 [14] использовались образцы из древесины размером 10×55×75 мм (последний размер – по длине волокон). Влажность образцов перед испытанием была не менее 100%.

Поглощение защитных средства П, кг/м^3, вычисляли по формуле (1):

$$\text{П} = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 1000, \qquad (1)$$

где m_1 – масса образца до обработки, г; m_2 – масса образца после обработки, г; V – объем образца, см^3.

Образцы пропитывались, согласно инструкции производителя, 10%-ными растворами испытываемых составов и сланцевым маслом по ГОСТ 20022.6–93 [15] (автоклавная пропитка) при рабочем давлении 9 атм. Среднее поглощение раствора ЗС1 составило 393,83 кг/м^3 (среднее поглощение концентрата антисептика 39,38 кг/м^3), среднее поглощение ЗС2 – 394,76 кг/м^3 (среднее поглощение концентрата антисептика 3,95 кг/м^3), МС – 394,48 кг/м^3.

При проведении испытаний для определения эффективности защитного средства по отношению к дереворазрушающим грибам по МВИ 001–2003 [16] использовались образцы березового шпона размером 70×70×1,5 мм и влажностью 12–14%. Пропитку образцов древесины проводили согласно инструкции производителя путем погружения в 10%-ный раствор испытываемых составов и в сланцевое масло. Среднее поглощение раствора ЗС1 составило 453,05 кг/м^3 (среднее поглощение концентрата антисептика 45,31 кг/м^3), среднее поглощение ЗС2 – 455,11 кг/м^3 (среднее поглощение концентрата антисептика 45,51 кг/м^3), МС – 454,92 кг/м^3.

После пропитки образцы выдерживались в условиях, исключающих попадание влаги, в течение 7 сут.

После фиксации защитных компонентов пропитанные образцы подвергались испытанию в XIV–XVIII классах условий службы с цикличностью 32 и 64 сут, что по СТБ 11.03.02–2010 [17] соответствует 4 и 8 годам эксплуатации защитных средств.

По истечении 32 и 64 сут образцы древесины извлекались и испытывались на эффективность по отношению к плесневым, деревоокрашивающим и дереворазрушающим грибам по ГОСТ 30028.4–2006 и МВИ ХХХ.001–2003 [14, 16] соответственно.

Согласно ГОСТ 9.048–89 [18], для культивирования грибов использовали среду сусло-бульон и сусло-агар. Для этого неохмеленное пивное сусло разбавляли дистиллированной водой до содержания сахара 6–7%. Доводили pH среды

до значения 6,0 ± 0,5. При необходимости приготовления плотной среды добавляли агар из расчета 20 г на 1 л. Приготовленную среду стерилизовали при 1 атм в течение 20 мин. После чего в стерильных условиях разливали в пробирки либо чашки Петри.

Согласно ГОСТ 30028.4–2006 [14], при проведении испытания использовались три группы грибов. Первая группа включала следующие виды грибов: *Alternaria humicola, Aspergillus niger, Aspergillus terreus, Fusarium moniliforme, Fusarium sporotrichiella, Penicillium brevicom, Penicillium chrysogenum, Penicillium ochrochloron, Phialophora fastigiata.* Вторая группа: *Aspergillus hennebertii, Cladosporium herbarum, Fusarium merismoides, Paecilomyces variotii, Sporidesmium cladosporii, Exophia lajeanselmei, Paecilomyces marquandii.* Третья группа: *Alternaria tenuis, Aspergillus amstelodami, Aureobasidium pullulans, Fusarium culmorum, Penicillium purpurogenum, Trichoderma harzianum.*

Для приготовления суспензии спор использовали культуры грибов возрастом 21 сут с момента пересева. Суспензию с концентрацией спор 1 млн/см^3 готовили отдельно для каждого вида гриба. Рабочую суспензию получали путем смешивания суспензий видов грибов, входящих к конкретную группу, а именно по 1 см^3 суспензии каждого вида с необходимой концентрацией спор вносили в емкость и доводили дистиллированной водой до 100 см^3.

Для каждой группы грибов готовили одельный эксикатор, в который засыпали на 1/4 высоты предварительно увлажненные до (70 ± 5)% опилки из здоровой заболони сосны. Опилки орошали рабочей суспензией грибов при помощи пульверизатора. Эксикаторы находились в помещении с температурой (2 ± 2)°С в течение 14 сут до начала испытаний.

Для каждого защитного средства в каждом классе условий службы испытывали по 18 образцов пропитанной древесины (по 6 образцов на каждую из трех групп грибов).

В эксикаторы с зараженными опилками устанавливали испытуемые и контрольные образцы древесины, не пропитанные защитными средствами. Продолжительность испытания составила 15 сут при температуре (25 ± 2)°С с периодическим орошением содержимого эксикаторов для поддержания влажности, которая необходима для развития грибов. Состояние образцов оценивалось визуально через 5, 10 и 15 сут.

При анализе полученных результатов оценивали среднюю площадь поражения грибами образца как отношение суммы площадей, пораженных грибами, к общей площади образца (в процентах).

Результаты испытания приведены в табл. 3.

Таблица 3

Эффективность по отношению к плесневым и деревоокрашивающим грибам

Класс условий службы	Состав	Средняя площадь поражения грибами, %	
		4 года	8 лет
XIV	ЗС1	4	8
	ЗС2	0	0
	МС	0	0
XV	ЗС1	12	23
	ЗС2	0	18
	МС	0	0
XVI	ЗС1	9	11
	ЗС2	8	71
	МС	0	0
XVII	ЗС1	10	14
	ЗС2	10	15
	МС	0	0
XVIII (тропический климат)	ЗС1	7	10
	ЗС2	7	13
	МС	0	0
XVIII (субтропический климат)	ЗС1	0	10
	ЗС2	30	73
	МС	0	0

Из данных, представленных в таблице, можно видеть, что сланцевое масло в испытуемых XVII–XVIII классах условий службы древесины после 64 недель (что соответствует 8 годам эксплуатации средства) в имитированных условиях составило 100%-ную защиту от плесневых и дереворазрушающих грибов. Однако в сланцевом масле содержится гидросульфид (H_2S) – очень токсичный и очень огнеопасный газ, который в виде паров может скапливаться в помещениях хранения товара. Газ снижает обоняние даже в маленьких концентрациях и имеет неприятный запах.

В XV, XVI, XVII, XVIII классах службы эксплуатируются железнодорожные шпалы, виноградные колья, опоры линий связи и электропередачи, опоры мостов, деревянные ограждения, складские и сельскохозяйственные здания и сооружения, причалы для речных и морских судов, рудничная стойка, деревянные сооружения градирен электростанций.

Вторым по эффективности показало себя ЗС1 на основе медных триазолов и содержащее аммонийные группы. В XV, XVI, XVII, XVIII классах службы по защищающей способности данное средство по результатам испытаний классифицировано как эффективное.

ЗС2 в XV, XVII и XVIII (тропический климат) классах службы по защищающей способности классифицировано как эффективное. В XVI и XVIII (субтропический климат) – неэффективное,

что, возможно, связано с тем, что болотная вода имеет свой микроклимат, который способствовал развитию грибов, находящихся практически постоянно в оптимальной температуре для своего роста, а соль, содержащаяся в морской воде, и понижение температуры способствовали более быстрому разрушению древесины и вымываемости защитного средства.

Оба водорастворимых средства можно отнести к высокоэффективным в XIV классе условий службы древесины, что может быть связано и с внесением химических веществ при имитации условий, которые ингибировали рост грибов.

Согласно МВИ 001–2003, при проведении испытания использовали культуру гриба *Coniophora puteana*. На скошенном сусло-агаре в пробирке выращивали *Coniophora puteana* в течение 5 сут при (25 ± 2)°С. После чего в пробирку с накопленной биомассой гриба добавляли 1 см^3 сусло-бульона и тщательно встряхивали, инкубировали в течение 2 сут. После тщательного суспендирования 0,8 см^3 суспензии переносили на поверхность агаризованной сусло-среды и растирали шпателем. Посевы инкубировали (25 ± 2)°С до образования равномерного газона (5–8 сут). Из получившегося газона с помощью пробочного сверла диаметром 12 см, соблюдая правила асептики, вырезали агаровые блоки.

Испытуемые образцы шпона помещали на сусло-агар, а агаровые блоки переносили, соблюдая стерильность, в центр образца, располагая ростом культуры вниз. Для каждого защитного средства в каждом классе условий службы испытывали по 5 пропитанных образцов шпона. Параллельно инокулировали агаровыми блоками непропитанные образцы шпона. Чашки Петри с образцами культивировали при (25 ± 2)°С, пока мицелий гриба на непропитанной древесине не достиг границы шпона (6–8 сут).

При анализе полученных результатов оценивали ширину зоны обрастания агарового блока мицелием, для чего использовали измерительный шаблон, где величина обрастания на одном образце древесины является среднеарифметическим 6 измерений. После вычисляли среднее значение ширины зоны для образцов параллельного испытания.

Ингибирующий эффект ИЭ, %, защитного средства вычисляли по формуле (2):

$$\text{ИЭ} = (1 - \frac{X_{\text{ср.пр}}}{X_{\text{ср.о}}} \cdot 1000), \qquad (2)$$

где $X_{\text{ср.пр}}$ – средняя ширина зоны обрастания пропитанных защитными средствами образцов, мм; $X_{\text{ср.о}}$ – средняя ширина зоны обрастания, на непропитанных защитными средствами образцах, мм.

Результаты испытания приведены в табл. 4.

Таблица 4

Эффективность по отношению к дереворазрушающему грибу

Класс условий службы	Состав	Ингибирующий эффект, %	
		4 года	8 лет
XIV	ЗС1	60	55
	ЗС2	59	51
	МС	69	66
XV	ЗС1	70	67
	ЗС2	60	54
	МС	100	100
XVI	ЗС1	75	69
	ЗС2	63	56
	МС	100	100
XVII	ЗС1	65	55
	ЗС2	63	53
	МС	100	100
XVIII (тропический климат)	ЗС1	72	64
	ЗС2	62	54
	МС	63	61
XVIII (субтропический климат)	ЗС1	77	69
	ЗС2	77	62
	МС	69	65

Из данных, представленных в таблице, можно видеть, что сланцевое масло в испытуемых XV–XVII классах условий службы древесины после 64 недель (что соответствует 8 годам эксплуатации средства) в имитированных условиях составило 100%-ный ингибирующий эффект по отношению к дереворазрушающему грибу, в XIV, XVIII – 66 и 65%.

Для ЗС1 ингибирующий эффект в XVI, XVIII (субтропический климат) составил 69%, в XV – 67%, в XVIII (тропический климат) – 64%, в XIV и XVII классах службы – 55%.

Для ЗС2 ингибирующий эффект в XVIII (субтропический климат) составил 62%, в XVI – 56%, в XV и XVIII (тропический климат) – 54%, в XVII – 53%, в XIV классе условий службы – 51%.

Таким образом, оба водорастворимых неорганических средства на основе медных триазолов показали сопоставимые результаты по эффективности в отношении дереворазрушающего гриба.

Заключение. В ходе проведения исследования разработана программа, позволяющая в лабораторных условиях определить долговечность образцов древесины сосны, пропитанных масляным и водорастворимыми средствами, содержащими окись меди и триазолы в XIV–XVIII классах службы древесины согласно ГОСТ 20022.2–2018. Эффективность по отношению к плесневым, деревоокрашивающим и дереворазрушающим

грибам наблюдалась с цикличностью 32 и 64 сут, что имитирует 4 и 8 лет эксплуатации защитных средств.

Показано, что в этих условиях наиболее эффективным защитным средством по отношению к плесневым, деревоокрашивающим и дереворазрушающим грибам является сланцевое масло. Однако в сланцевом масле содержится гидросульфид (H_2S) – очень токсичный и очень огнеопасный газ, который в виде паров может скапливаться в помещениях хранения товара, он снижает обоняние даже в маленьких концентрациях и имеет неприятный запах.

Испытуемые современные экологически безопасные защитные средства на основе медных триазолов являются достаточно эффективными по отношению к плесневым, деревоокрашивающим и дереворазрушающим грибам в определенных классах эксплуатации древесины.

Так, защитное водорастворимое средство на основе медных триазолов и содержащее аммонийные группы в XV, XVI, XVII, XVIII классах службы по защищающей способности от плесневых и деревоокрашиваюших грибов, согласно результатам испытаний, классифицировано как эффективное. Водорастворимое неорганическое средство, содержащее невымываемый антисептик на основе медных триазолов – ЗС2 XV, XVII и XVIII (тропический климат) классов службы, по данной защищающей способности классифицировано как эффективное, в XVI и XVIII (субтропический климат) – неэффективное.

По эффективности ингибирования к дереворазрушающему грибу водорастворимые неорганические средства на основе медных триазолов показали сопоставимые между собой результаты как эффективные.

Необходимы ТНПА, которые регламентируют обязательную защиту древесины и изделий из нее специальными составами с целью их сохранения и длительного использования. Указанный метод может быть положен в основу нормативно-правового акта по испытаниям эффективности и долговечности защитных средств в различных условиях эксплуатации защищенной древесины.

Список литературы

1. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.

2. Горшин С. Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. – 355 с.

3. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.

4. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Определение преобладающих культур дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов, их воздействие на древесину // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 299–304.

5. Мазаник Н. В. Комплексная защита древесных материалов антисептиками синергического действия: автореф. дис. … канд. техн. наук / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2010. 22 с.

6. Леонович О. К. Технология производства модифицированной древесины для опор линий связи и электропередачи: автореф. дис. … канд. техн. наук / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 1989. 19 с.

7. Божелко И. К. Ресурсосберегающая технология пропитки деревянных шпал эмульсионным защитным средством: автореф. дис. … канд. техн. наук / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2018. 22 с.

8. Мазало Н. А., Леонович О. К. Исследование огне и огне- и огнебиозащитных свойств древесины, пропитанной составами на основе фосфорно-органических соединений // 85-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием): сб. науч. работ, Минск, 1–13 февраля 2021 / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2021. URl: https://www.belstu.by/science/obschayainformaciya/conferencesandexhibitions/2018-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html (дата обращения: 26.03.2021).

9. Мазало Н. А. Исследование долговечности древесины, пропитанной водорастворимыми и масляными антисептиками // 72-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ, Минск, 12–23 апреля 2021. Минск, 2021 (в печати).

10. Леонович О. К., Мазало Н. А. Исследование долговечности археологической древесины, обработанной защитными средствами // II Международная научно-практическая конференция «Музейныя здабыткі» к 70-летию Брестского областного краеведческого музея. Семинар «Актуальные вопросы изучения консервации и музеефикации археологических объектов из дерева». Брест 12–13 ноября 2020 г. Брестский областной краеведческий музей; редкол.: А. В. Митюков [и др.]. Брест: Изд-во ООО «Брестская типография», 2020. С. 272–281.

11. Защита древесины. Термины и определения: ГОСТ 20022.1-90. Введ. 01.07.01. М.: Госстандарт, 1990. 13 с.

12. Защита древесины. Параметры защищенности: ГОСТ 20022.0-2016. Введ. 01.04.18. М.: Стандартинформ, 2017. 44 с.

13. Защита древесины. Классификация. ГОСТ 20022-2–2018. Введ. 01.04.19. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.

14. Средства защитные для древесины. Экспресс-метод оценки эффективности против дереворазрушающих и плесневых грибов: ГОСТ 30028.4–2006. Введ. 01.01.07. М.: Межгос. сов. по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. 6 с.

15. Защита древесины. Способы пропитки: ГОСТ 20022.6–93. Введ. 21.10.93. М.: Межгос сов. по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 12 с.

16. Методика определения ингибирующей способности защитных средств для древесины: МВИ 001–2003. Введ. 14.03.2003. Минск: БГТУ, 2011. 13 с.

17. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02–2010. Введ. 01.07.2011. Минск: Госстандарт, 2003. 20 с.

18. Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов: ГОСТ 9.048–89. Введ. 01.07.91. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1989. 22 с.

References

1. Sergovskiy P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscov, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p.

2. Gorshin S. N. *Konservirovaniye drevesiny* [Wood preservation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ.,1977. 355 p.

3. Paul E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedeniye s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest tavarology]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 315 p.

4. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. Determination of the prevailing cultures of wood-destroying and wood-coloring fungi, their impact on wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no 2, pp. 299–304 (In Russian).

5. Mazanik N. V. *Kompleksnaya zashchita drevesnykh materialov antiseptikami sinergicheskogo deystviya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Complex protection of wood materials with antiseptic tanks of sinergistic action. Abstrakt of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 2010. 22 p.

6. Leonovich O. K. *Tekhnologiya proisvodstva modifitsirovannoy drevesiny dlya opor liniy svyazey i elektroperedachi* [The technology of production of modified wood for the supports of communication lines and power transmission author. Abstrakt of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 1989. 19 p.

7. Bozhelko I. K. *Resursosberegayschaya tekhnologiya propitki derevyannykh shpal emul'sionnym zashchitnym sredstvom. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Resource-saving technology of impregnation of wooden sleepers with an emulsion protective agent. Abstrakt of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 2018. 22 p.

8. Mazalo N. A., Leonovich O. K. Investigation of fire and fire-and fire-protective properties of wood impregnated with compositions based on phosphorus-organic compounds. *85-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [85nd scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and graduate students (with international participation): collection of scientific papers]. Minsk, February 1–13, 2021. Minsk, 2021. Available at: https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2021-god/85nd nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html (accessed 26.03.2021).

9. Mazalo N. A. Study of durability of wood impregnated with water-soluble and oil antiseptics. *72-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov: sb. nauch. rabot* [72nd scientific and technical conference of pupils, students and undergraduates: collection of scientific. papers]. Minsk, April 12–23, 2021. Minsk, 2021 (In the press).

10. Leonovich O. K., Mazalo N. A. Study of the durability of archaeological wood treated with protective agents. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, "Huzeynyya zolabytki" k 70-letiyu Brestskogo oblastnogo krayevedcheskogo muzeya. Seminar "Aktual'nyye voprosy izucheniya konservatsii i muzeyefikatsii arkheologicheskikh ob''yektov iz dereva"* [II International Scientific and Practical Conference "Museum Buildings" on the occasion of the 70th anniversary of the Brest Regional Museum of Local Lore Seminar "Topical Issues of Studying the Conservation and Museumification of Archaeological Objects Made of Wood" Brest, November 12–13, 2020. Brest Regional Museum; ed. by: A. V. Mityukov [et al.].] Brest, Brestskaya tipografiya, 2020, pp. 272–281 (In Russian).

11. GOST 20022.1–90. *Zashchita drevesiny. Terminy i opredeleniya* [Wood protection. Terms and definitions]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1990. 13 p. (In Russian).

12. GOST 20022.0–2016. *Zashchita drevesiny. Parametry zashchishchennosti* [Wood protection. Security parameters]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2017. 44 p. (In Russian).

13. GOST 20022-2–2018. *Zashchita drevesiny. Klassifikatsiya* [Wood protection. Classification]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2018. 12 p. (In Russian).

14. GOST 30028.4–2006. *Sredstva zashchitnyye dlya drevesiny. Ekspress-metod otsenki effektivnosti protiv derevookrashivayaushchikh plesnevykh gribov* [Means protective for wood. Express method for assessing the effectiveness against wood-staining and mold fungi]. Moscow, Mezhgosudarstvennyy sovet po standardizatsii, metrologii i sertificatsii Publ., 2006. 6 p. (In Russian).

15. GOST 20022.6–93 *Zashchita drevesiny. Sposoby propitki* [Wood protection. Impregnation methods]. Moscow, Mezhgosudarstvennyy sovet po standardizatsii, metrologii i certificatsii Publ., 1996.12 p. (In Russian).

16. *Metodika opredeleniya ingibiruyushchey sposobnosti zashchitnykh sredstv dlya drevesiny* [Method for determining the inhibiting ability of wood preservatives]. Minsk, BGTU Publ., 2011. 13 p. (In Russian).

17. STB 11.03.02–2010. *Sredstva ognezashchitnyye. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya i metody ispytaniy* [Fire retardants. General technical requirements and test methods]. Minsk, Izdatel'stvo standartov Publ., 2003. 20 p. (In Russian).

18. GOST 9.048–89. *Yedinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Izdeliya tekhnicheskiye. Metody laboratornykh ispytaniy na stoykost' k vozdeystviyu plesnevykh gribov* [Unified system of protection against corrosion and aging. Technical products. Methods of laboratory tests for resistance to mold fungi]. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1989. 22 p. (In Russian).

Информация об авторах

Леонович Олег Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: OKL2001@mail.ru

Мазало Надежда Александровна – магистрант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mazalo@belstu.by.

Information about the authors

Leonovich Oleg Konstantinovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Industries. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: OKL2001@mail.ru

Mazalo Nadezhda Aleksandrovna – Master's student, the Department of Technology of Woodworking Industries. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: smokya.mazalo@belstu.by.

Поступила 22.03.2021

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX

УДК 614.876:630*8

Г. А. Чернушевич, Н. О. Азовская, А. В. Домненкова, С. В. Киселев
Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ «ДАРОВ ЛЕСА» НА ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ

Проведен анализ ряда факторов, влияющих на формирование доз внутреннего облучения населения Беларуси, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях. После аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в 1986 г. радиоактивное загрязнение лесных угодий Республики Беларусь составляло 23, а сейчас снизилось до 16%. В настоящее время в различной степени загрязнены радионуклидами территории 44 лесхозов Беларуси, а по прогнозам, к 2046 г произойдет постепенное снижение степени радиоактивного загрязнения территории республики и площадь загрязнения с плотностью более 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2) будет составлять около 830 тыс. га. Таким образом, в зоне радиоактивного загрязнения лесхозов еще останется большая площадь лесных массивов. В связи с высоким уровнем остаточного радиоактивного загрязнения значительных территорий Республики Беларусь после аварии на ЧАЭС долгосрочный прогноз радиоактивного загрязнения лесных пищевых продуктов, вносящих вклад в дозу внутреннего облучения населения, проживающего на этих территориях, является актуальной задачей.

На землях лесного фонда Беларуси биологические ресурсы ягод и плодов составляют около 50 тыс. т, среди них наиболее хозяйственно значимыми являются ягодные растения: черника, клюква, голубика, брусника. Потребление лесных ягод на одного жителя Беларуси составляет в среднем 3–10 кг ягод в год, что приводит к увеличению дозы внутреннего облучения на 0,3–0,6 мЗв/год при плотности загрязнения 185 кБк/м^2. По данным исследований пищевые продукты леса, составляющие всего несколько процентов от массы ежедневного рациона сельских жителей Белорусского Полесья, определяют поступление в их организм до 50% общей активности цезия-137, содержащейся в рационе питания.

Ключевые слова: ягоды, радионуклиды, цезий-137, радиометр-дозиметр, удельная активность.

Для цитирования: Чернушевич Г. А., Азовская Н. О., Домненкова А. В., Киселев С. В. Анализ влияния радиоактивного загрязнения «даров леса» на внутреннее облучение населения // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 298–305.

G. A. Chernushevich, N. O. Azovskaya, A. V. Domnenkova, S. V. Kiselev
Belarusian State Technological University

IMPACT ANALYSIS OF THE RADIOACTIVE CONTAMINATION OF NON-TIMBER FOREST RESOURCES ON THE INTERNAL RADIATION OF LOCAL PEOPLE

The paper gives the review of some factors influencing the radiation exposure dose of Belarusian people dwelling in the radioactively contaminated areas. Today, the proportion of Belarusian forest areas contaminated by the Chernobyl nuclear disaster has reduced from 23% to 16%, with 44 forestry enterprises being located in affected areas. It has been estimated that the radioactive contamination level will further decrease by 2046; the areas with more than 37 kBq/m^2 (1Ci/km^2) will amount to approximately 830 thousand ha. Thus, the larger proportion of national forests will still be within radioactive contamination zone. The level of the remaining radioactive contamination is still high and considerable areas of

the Republic of Belarus are still contaminated. Therefore, a long-range estimation of the contamination of non-timber forest resources (food products) is a pressing issue as this has an immediate impact on the internal radiation of local people.

Biological resources of fruits and berries in Belarusian forests amount to 50 thousand t. The most commercially valuable berries are blueberries, cranberries, bog whortleberries, red bilberries. The average annual per capita consumption of berries ranges from 3 to 10 kg, which increases the internal radiation exposure dose by 0.3-0.6 m^3/year, the contamination density being 185 kBq/m^2. Studies show that food products of forest make only a minor proportion of the daily diet of rural population of Belarusian Polessye, so about 50% of the cesium-137 total activity enters the human body.

Key words: berries, radionuclides, cesium-137, radiometer-dosimeter, specific activity.

For citation: Chernushevich G. A., Azovskaya N. O., Domnenkova A. V., Kiselev S. V. Impact analysis of the radioactive contamination of non-timber forest resources on the internal radiation of local people. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 298–305 (In Russian).

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС заставила в корне пересмотреть взгляды на проблемы радиационной безопасности населения. Авария привела к увеличению числа людей, вовлеченных в сферу воздействия радиационных факторов на организм человека и условия его жизни [1].

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. радиоактивное загрязнение лесных угодий Республики Беларусь составляло 23, а сейчас снизилось до 16%. В настоящее время в различной степени загрязнены территории 44 лесхозов (206 лесничеств). После распада короткоживущих радионуклидов и включения основных долгоживущих дозообразователей ^{137}Cs и ^{90}Sr в биологический круговорот веществ радиационная обстановка в лесах изменяется медленно, т. к. самоочищение происходит только за счет радиоактивного распада, продолжающегося многие десятилетия [2–4]. Леса прочно удерживают выпавшие радионуклиды, препятствуют выносу их за пределы территорий. В то же время загрязненный лесной фонд является источником радиационной опасности для населения.

Загрязнение территории лесного фонда Республики Беларусь представлено в табл. 1.

Таблица 1

Загрязнение территории лесного фонда ^{137}Cs

Наименование ПЛХО	Площадь загрязнения цезием-137, тыс. га		
	на 01.01.2016	на 01.01.2021	прогноз на 2046 г.
Брестское	93,4	77,3	26,3
Витебское	0,1	0,1	0,0
Гомельское	826,3	766,0	536,4
Гродненское	29,8	14,6	2,2
Минское	31,7	28,3	8,3
Могилевское	411,9	376,1	256,1
Итого	1392,2	1262,4	829,3

Основными целями исследований, приведенных в статье, является анализ факторов, влияющих на формирование доз внутреннего облучения населения Беларуси, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.

В настоящее время основной вклад в дозу внутреннего облучения вносят лесные пищевые продукты, главным образом ягоды.

В качестве объектов исследований взяты образцы ягод черники, собранных в Гомельской, Могилевской, Гродненской областях и в Минском районе.

Основная часть. Для рационального использования природных ресурсов на загрязненных радионуклидами территориях лесного фонда в соответствии с «Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения» организована особая система ведения лесохозяйственной деятельности, обеспечивающая в течение длительного времени эффективное проведение лесохозяйственных мероприятий, безопасные условия труда и получение нормативно чистой продукции. Правилами, в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения, предусмотрен большой объем защитных мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности работников леса и населения, пользующегося продукцией леса, предотвращение переноса радионуклидов на чистые территории [1]. Это стало возможным благодаря разработке комплекса защитных мероприятий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности населения, которое состоит из шести групп.

Первая группа включает *организационно-технические* мероприятия. Это организация системы радиационного контроля земель лесного фонда, мониторинг радиационной обстановки в лесном фонде, контроль содержания радионуклидов в лесных ресурсах.

Радиационное обследование земель лесного фонда осуществляется при плотности загрязнения почв цезием-137 более 37 кБк/$м^2$ в соответствии с ТКП 240-2010 [5].

Радиационный мониторинг лесного фонда осуществляется на постоянных пунктах наблюдения, которые и образуют первичную сеть радиационного мониторинга леса (РМЛ) [6].

Объектами радиационного мониторинга являются лесная подстилка, почва, растения и их части, грибы, ягоды. Контролируемыми параметрами являются мощность дозы гамма-излучения, активность цезия в объектах радиационного мониторинга леса. Основными задачами РМЛ являются изучение динамики и факторов, влияющих на накопление цезия-137 в контролируемых объектах.

Организация и проведение радиационного мониторинга возлагается на специалистов службы радиационного контроля, прошедших специальную подготовку в области радиационной безопасности [1]. Радиационное обследование лесосек проводится в лесных кварталах с плотностью загрязнения почв цезием-137 более 37 кБк/м^2. Радиационный контроль на объектах лесохозяйственного назначения, рабочих местах проводится по ТКП 250-2010 [7].

Вторая группа включает *технологические защитные мероприятия*. Сюда относят малолюдные технологии, соблюдение сезонности при производстве лесохозяйственных работ, их механизация, охрана лесов от пожаров. Эти меры требуют дополнительных финансовых затрат. Обусловлено это тем, что работники, привлекаемые к работам в зонах радиоактивного загрязнения, должны пройти обучение правилам радиационной безопасности, использования средств индивидуальной защиты и личной гигиены, все работающие обеспечиваются средствами индивидуальной защиты и индивидуальными дозиметрами, должны иметь медицинское заключение о допуске по состоянию здоровья к работе [1, 7–9].

Третья группа включает *ограничительные мероприятия*, т. е. нормирование содержания радионуклидов в лесных ресурсах, ограничение доступа населения в загрязненные леса, ограничение времени работы в зонах с повышенным радиационным фоном для снижения дозовых нагрузок.

Нормирование содержания радионуклидов в лесных ресурсах осуществляется в соответствии с РДУ/ЛХ-2001 [10] и РДУ-99 [11].

Нормирование содержания радионуклидов в древесном сырье и пищевой продукции леса дает эффект снижения доз облучения, не требует дополнительных затрат, но ограничительные мероприятия приводят к экономическим потерям за счет сокращения объемов использования лесных ресурсов.

Четвертая группа содержит *информационные мероприятия* и включает научные исследования, подготовку и повышение квалификации специалистов лесного хозяйства, постоянное информирование населения через СМИ о радиационной обстановке в лесном фонде и возможности использования лесной продукции.

Пятую группу представляют *социально-экономические* мероприятия, которые включают охрану труда, производственную санитарию, улучшение качества жизни и медико-санитарное обслуживание работающих.

В шестую группу входят *предупредительные защитные* мероприятия, включающие зонирование территорий вокруг атомных электростанций (АЭС) и других радиационно-опасных объектов [12].

В связи с высоким уровнем остаточного радиоактивного загрязнения значительных территорий Республики Беларусь после аварии на ЧАЭС долгосрочный прогноз радиоактивного загрязнения лесных пищевых продуктов, вносящих вклад в дозу внутреннего облучения населения, проживающего на этих территориях, является актуальной задачей. В лесных экосистемах абсолютными концентраторами ^{137}Cs и одним из основных дозообразующих компонентов в трофической цепи являются ягоды (особенно для критических групп населения, в первую очередь жителей загрязненных территорий, работников лесного хозяйства, охотников и членов их семей) [13–15].

Основной вклад в дозу внутреннего облучения в настоящее время вносят лесные пищевые продукты, главным образом ягоды, являющиеся продуктом потребления сельских жителей загрязненных районов [16].

Для долгосрочного прогноза поведения радионуклидов в лесных экосистемах необходимо знать динамику снижения активности лесных почв в зависимости от времени и других факторов, от которых может зависеть активность ягод. Основными параметрами, влияющими на накопление активности ^{137}Cs из почвы в ягодах, являются:

– плотность поверхностного загрязнения почвы;

– физико-химические свойства почвы (содержание обменного калия, pH, концентрация обменного калия (K_2O), концентрация органического вещества (C), сумма обменных оснований (S), емкость катионного обмена (ЕКО), содержание физической глины и увлажненности почвы);

– разновидность ягод [17, 18].

Поскольку ягоды в значительной степени определяют дозу внутреннего облучения человека и служат индикаторами биологической доступности ^{137}Cs, требуется уточнение параметров, характеризующих темп изменения аккумуляции ^{137}Cs в зависимости от времени, прошедшего с момента аварии на ЧАЭС. Такая

модель поможет предсказать ожидаемые средние уровни загрязнения ягод, диапазон наиболее вероятных значений для отдельных видов ягод, выделить территории, на которых уровни загрязнения ягод будут находиться в пределах установленных нормативов, дать более точную оценку вклада ягод в индивидуальные и коллективные дозы облучения.

На землях лесного фонда Беларуси биологические ресурсы ягод и плодов составляют до 50 тыс. т.

Наиболее хозяйственно значимыми являются ягодные растения: черника, клюква, голубика, брусника, а из плодовых – рябина обыкновенная.

Наибольшими запасами в целом по республике отмечается черника – 33 тыс. т (66% от биологического запаса всех основных видов) и клюква – 11,2 тыс. т (22,5%), наименьшими – рябина обыкновенная (1,1 тыс. т, или 2,2%) и голубика (1,3 тыс. т, или 2,6%).

Потребление «даров леса» в доаварийный период в среднем на одного жителя лесных регионов Беларуси составляло 4 кг/год ягод и столько же грибов. Употребление их в пищу приводит к увеличению дозы внутреннего облучения на 0,3 мЗв/год при плотности загрязнения 185 кБк/м^2. Очевидно, что при более высоких плотностях загрязнения эта доза будет больше.

По данным исследователей, пищевые продукты леса, составляющие всего несколько процентов от массы ежедневного рациона сельских жителей Белорусского Полесья, определяют поступление в их организм до 50% общей активности цезия-137, содержащейся в рационе питания (табл. 2).

Таблица 2

Уровни потребления пищевой продукции леса населением Беларуси

Пищевая продукция	Потребление г/день	
	Сельские жители, проживающие возле лесов	Городские жители
Лесные ягоды	3–10	<0,2
Грибы	6–55	<0,2

После аварии на Чернобыльской АЭС проблема изучения накопления радионуклидов в ягодах и других пищевых продуктах леса привлекла внимание исследователей. Все они отмечают существенные межвидовые различия в накоплении Cs-137 ягодами. На основе исследований предприняты попытки ранжирования ягод по величине коэффициента перехода радионуклида в их плодовые тела. Однако при этом следует принимать во внимание очень высокую неравномерность удельной активности ^{137}Cs в ягодах, собранных даже на относительно малых площадях.

По способности накапливать цезий-137 ягоды условно можно разделить на три группы [18]:

– сильнонакапливающие: брусника, голубика, клюква, черника;

– средненакапливающие: земляника, рябина;

– слабонакапливающие: ежевика, калина, малина.

Объектом исследования явились образцы ягод черники (32 образца), собранных в 10 районах Гомельской области, 6 районах Могилевской области, Минском районе и Волковысском районе Гродненской области (табл. 3).

Таблица 3

Результаты исследований загрязненности черники радионуклидом цезием-137 по районам

№ образца	Район	A_m Cs-137, Бк/кг	Превышение
Гомельская область			
6	Лельчицкий	140	
7	Лельчицкий	293	в 1,6 раза
8	Лельчицкий	170	
11	Милошевичский	124	
15	Норовлянский	510	в 2,8 раза
12	Милошевичский	286	в 1,5 раза
4	Мозырьский	60	
5	Мозырьский	112	
16	Ельский	350	в 1,9 раза
17	Гомельский	36	
9	Милошевичский	232	в 1,3 раза
10	Милошевичский	130	
18	Лоевский	74	
1	Хойникский	480	в 2,6 раза
2	Житковичский	116	
3	Житковичский	56	
13	Светлогорский	60	
14	Светлогорский	118	
Могилевская область			
1	Белыничский	112	
2	Белыничский	92	
5	Чериковский	216	в 1,2 раза
3	Чериковский	457	в 2,5 раза
4	Чериковский	126	
6	Краснопольский	340	в 1,8 раза
7	Краснопольский	84	
10	Быховский	240	в 1,3 раза
11	Быховский	146	
8	Краснопольский	168	
9	Бобруйский	42	
12	Горецкий	88	
Минская область			
1	Минский	157	
Гродненская область			
1	Волковысский	111	

При заготовке и переработке лесных ягод необходимо знать, что:

– приготовление варенья и компота из ягод не изменяют общего содержания цезия-137. Уменьшается только удельное содержание цезия-137 за счет увеличения объема при добавлении сахара и воды;

– при одинаковой плотности загрязнения почв содержание цезия-137 в ягодах больше во влажных условиях произрастания, чем в сухих;

– при одинаковой плотности загрязнения почв содержание цезия-137 в ягодах больше в чисто сосновых лесах, меньше – в смешанных с лиственными древесными породами сосновых лесах. Минимальное содержание цезия-137 в ягодах отмечается в лиственных лесах;

– собранные ягоды перед употрблением необходимо обязательно очистить от прилипших частиц лесной подстилки, мха, почвы и несколько раз промыть в проточной воде.

Заготовка дикорастущих ягод допускается в лесах с плотностью загрязнения почв до 2 Ки/км^2 с обязательной проверкой их на содержание радионуклидов.

Радиационный контроль ягод проводился дозиметрами МКС-АТ6130, МКС-АТ1117М, гамма-радиометрами РУГ-91М, РКГ-АТ1320А.

Исследования проводились в лаборатории кафедры безопасности жизнедеятельности на гамма-радиометре РКГ-АТ1320А (рис. 1).

Рис. 1. Гамма-радиометр РКГ-АТ1320А:
1 – блок детектирования; *2* – блок обработки информации с ЖКИ; *3* – блок защиты; *4* – крышка блока защиты; *5* – ножки с опорами; *6* – измерительный сосуд

В лесхозах, лесничествах установлены специальные стенды, содержащие информацию о радиоактивном загрязнении лесной продукции, действующих нормативах содержания в ней радионуклидов, адресах лабораторий и постов, где можно проверить продукцию. Приводятся также картосхемы радиоактивного загрязнения лесов с указанием уровней загрязнения отдельных лесных участков: неокрашенные лесные кварталы – сбор дикорастущих ягод и грибов проводятся без ограничений; окрашенные в бирюзовый (37–74 кБк/м^2) и синий цвета (74–185 кБк/м^2) – сбор дикорастущих ягод и грибов разрешен с обязательным радиометрическим контролем; окрашенные в желтый цвет (185–555 кБк/м^2) – сбор дикорастущих ягод и грибов, сенокошение и выпас скота запрещены; окрашенные в зеленый (555–1480 кБк/м^2) и красный цвет (1480 кБк/м^2 и более) – посещение лесов запрещено [1].

Уровни допустимого содержания ^{137}Cs в дикорастущих ягодах и консервированных продуктах из них не должны превышать 185 Бк/кг.

Черника собиралась в рекомендованной I зоне (37–185 кБк/м^2).

Анализ полученных результатов удельной активности показал превышение допустимых значений, установленных РДУ-99 (185 Бк/кг), в 10 образцах (5 районах Гомельской области и 3 районах Могилевской области). Удельный вес проб с превышением допустимых уровней составил 25%.

Исследуемые образцы проб из Минского и Волковысского районов не превысили допустимый уровень радиоактивного загрязнения 185 Бк/кг. Так, в Минском районе удельная активность черники составила 157 Бк/кг, в Волковысском районе – 111 Бк/кг.

Образцы черники с наибольшим превышением допустимых значений удельной активности были собраны в Хойникском районе (480 Бк/кг) – превышение в 2,6 раза и Наровлянском районе (510 Бк/кг) – превышение в 2,8 раза.

Также необходимо отметить, что в пределах одного района (Лельчицкий, Милошевичский, Светлогорский, Чериковский, Краснопольский, Быховский) одни образцы соответствуют допустимым значениям, а в других удельная активность превышает значения РДУ-99. Это говорит о необходимости обязательной проверки собранных «даров леса» на содержание радионуклидов.

Опять же следует уточнить, что данные на одном и том же участке леса могут меняться, т. к. загрязненность зависит от многих факторов (время сбора, состав насаждения и пр.).

Потребление ягод может быть оценено уровнями ожидаемых доз внутреннего облучения. Оценка эффективных доз внутреннего

облучения, обусловленного поступлением радионуклидов с грибами, включает ряд параметров: удельную активность радионуклидов, массу потребленных продуктов, дозовые коэффициенты, связывающие поступление радионуклидов в организм человека и эффективную дозу внутреннего облучения.

При хроническом потреблении загрязненных цезием-137 продуктов питания расчет ожидаемой дозы внутреннего облучения осуществляется по формуле [17]

$$H = k \cdot m \cdot A_s \cdot Q,$$

где k – дозовый коэффициент для пищевого пути поступления цезия-137 в организм человека, равный $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк; m – годовое потребление продукта питания, кг/год; A_s – поверхностная активность загрязнения почвы, Бк/м^2; Q – коэффициент перехода цезия из почвы в грибы, принят равным 0,01 м^2/кг.

При постоянном потреблении загрязненных цезием-137 ягод индивидуальная доза внутреннего облучения может составить 0,3–0,6 мЗв при плотности загрязнения до 185 кБк/м^2. Очевидно, что при более высоких плотностях загрязнения эта доза будет больше. В соответствии с ГН № 213 «Критерий оценки радиационного воздействия» (2012 г.) [3], индивидуальная предельно допустимая доза от техногенных источников, которую человек может получить за весь период жизни, составляет 70 мЗв, или 1 мЗв/год.

Действие от малых доз облучения может суммироваться или накапливаться. Суммирование доз происходит скрытно. Если в организм человека систематически будут поступать радиоактивные вещества, то со временем это приведет к развитию лучевой болезни.

Результаты расчетов возможных доз облучения при среднестатистическом потреблении населением 10 кг ягод в год, собранных на загрязненных территориях, представлены в табл. 4.

Из данных, приведенных в табл. 4, видно, что доза внутреннего облучения населения за счет потребления ягод может составить 2 мЗв и более в год.

Таблица 4

Результаты оценки ожидаемых доз за счет потребления ягод

Поверхностное загрязнение ^{137}Cs, Ки/км^2 (кБк/м^2)	Доза за счет потребления ягод, мЗв/год
1–5 (37–185)	0,05–0,25
5-15 (185–555)	0,25–0,75
15–45 (555–1480)	0,75–2
>40 (>1480)	>2

Цезий во внутренних органах человека распределяется неравномерно.

Уровни накопления цезия-137 в органах при среднем содержании 50 Бк/кг на все тело: почки – 3000-4000 Бк/кг, печень – 2000-3000 Бк/кг, сердце – более 1000 Бк/кг.

Также накапливается в мышечных тканях, лимфоузлах, селезенке, мышцах. Согласно методике, предложенной Минздравом Республики Беларусь, пределу в 1 мЗв/год соответствует удельная активность цезия-137 в теле от 361 до 433 Бк/кг в зависимости от возрастной группы.

Заключение. Основные мероприятия по снижению дозовых нагрузок на человека: строгое соблюдение санитарно-гигиенических условий труда, радиационный контроль сырья и готовой продукции, радиометрический контроль продуктов питания и питьевой воды, использование технологий, снижающих активность пищевой продукции, использование для контроля радиационной нагрузки спектрометров излучения человека, применение энтеросорбентов для выведения радионуклидов из организма.

Проверить продукцию, выращенную (собранную) самостоятельно или купленную на рынках, можно в центрах гигиены и эпидемиологии, в лабораториях радиационного контроля лесхозов, расположенных на загрязненных радионуклидами территориях, которые занимаются измерением содержания радионуклидов в лесной продукции. Также это можно сделать в лабораториях радиационного контроля Белкоопсоюза, размещенных на обслуживаемых рынках, в местных центрах радиационного контроля.

Список литературы

1. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Минск, 2016. 16 с.

2. Ипатьев В. А., Багинский В. Ф., Булавик И. М. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации. Гомель: Ин-т. леса, 1999. 454 с.

3. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиенический норматив. Введ. 01.01.2013. Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2012. 232 с.

4. Переволоцкий А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: Ин-т радиологии, 2006. 255 с.

5. Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения: ТКП 240-2010. Введ. 01.06.2010. Минск, 2010. 24 с.

6. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП 498-2013. Введ. 03.10.2013. Минск, 2013. 28 с.

7. Радиационный контроль. Объекты лесного хозяйства, рабочие места. Порядок проведения: ТКП 250-2010. Введ. 28.06.2010. Минск, 2010. 27 с.

8. Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения: ТКП 251-2010. Введ. 28.06.2010. Минск, 2010. 24 с.

9. Правила пожарной безопасности в лесах Республики Беларусь: постановление Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь, 19 декабря 2016 г., № 70 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 04.02.2017, 8/31562.

10. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ\ЛХ-2001): ГН 2.6.1.10-1-01-2001. Минск, 2001. URL: radbez.bsmu.by (дата обращения: 20.02.2021).

11. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): ГН 10-117-99. Минск, 1999. URL: tpa.by/#!/FileText/ (дата обращения: 20.02.2021).

12. Азовская Н. О., Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Исследование степени радиоактивного загрязнения пищевой продукции леса и ее вклад в дозовую нагрузку населения // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 2 (210). С. 251–258.

13. Роль грибов и ягод в формировании дозы внутреннего облучения населения России после Чернобыльской аварии / В. Н. Шутов [и др.] // ЗНиСО. М.: ФЦГСЭН Минздрава России. 1998. № 2. С. 19–23.

14. Динамика радиоактивного загрязнения природных пищевых продуктов после аварии на Чернобыльской АЭС / В. Н. Шутов [и др.] // ЗНиСО. М.: ФЦГСЭН Минздрава России. 2003. № 4. С. 9–12.

15. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на ЧАЭС. Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий / М. В. Кадука [и др.] // Труды Междунар. конф., Москва, 5–6 декабря 2005 г. СПб.: Гидрометеоиздат, 2006. Т. 3. С. 230–239.

16. Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В. Прогнозная оценка содержания ^{137}Cs в лесных грибах и ягодах в зоне штатных выбросов Белорусской АЭС // Радиация и риск. 2013. Т. 22, № 2. С. 61–66.

17. Байрашевская Д. А. Формирование дозы внутреннего облучения населения, употребляющего продукты загрязненных лесных экосистем. Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2005. 330 с.

18. Карбанович Л. Н., Востокова Ж. И., Кунцевич Н. Н. Памятка «Вы собираетесь в лес…». Рекомендации для населения по пользованию лесами на территории Краснопольского лесхоза. Минск, 2012. 32 с.

References

1. *Pravila vedeniya lesnogo khozyaystva na territoriyakh, podvergshikhsya radioaktivnomu zagryazneniyu v rezul'tate katastrofy na Chernobyl'skoy AES* [Forest management rules in the areas affected by radioactive contamination as a result of the Chernobyl accident]. Minsk, 2016. 16 p.

2. Ipatiev V. A., Baginskiy V. F., Bulavik I. M. *Lesnyye ekosistemy posle avarii na Chernobyl'skoy AES: sostoyaniye, prognoz, reaktsiya naseleniya, puti reabilitatsii* [Forest ecosystems after the Chernobyl accident: state, forecast, public reaction, ways of rehabilitation]. Gomel, Institut lesa Publ., 1999. 454 p.

3. *Kriterii otsenki radiatsionnogo vozdeystviya: gigiyenicheskiy normativ* [Evaluation criteria of radiation exposure: health standard]. Minsk, Ministerstvo zdravookhraneniya Respubliki Belarus' Publ., 2012. 232 p.

4. Perevolotskiy A. N. *Raspredeleniye ^{137}Cs i ^{90}Sr v lesnykh biogeotsenozakh* [Distribution of ^{137}Cs и ^{90}Sr in forest biogeocenoses]. Gomel, Institut radiologii Publ., 2006. 255 p.

5. TKP 240-2010. *Radiatsionnyy kontrol'. Obsledovaniye zemel' lesnogo fonda. Poryadok provedeniya* [Radiation control. Examination of forest lands. Procedure]. Minsk, 2010. 24 p. (In Russian).

6. TKP 498-2013. *Radiatsionnyy monitoring lesnogo fonda. Zakladka postoyannogo punkta nablyudeniya* [Radiation monitoring of forest fund. Laying of permanent point of observation. Procedure]. Minsk, 2013. 28 p. (In Russian).

7. TKP 250-2010. *Radiatsionnyy kontrol'. Ob"yekty lesnogo khozyaystva, rabochiye mesta. Poryadok provedeniya* [Radiation control. Forestry objects, workplaces. Procedure]. Minsk, 2010. 27 p. (In Russian).

8. TKP 251-2010. *Radiatsionnyy kontrol'. Otbor i podgotovka prob lesnoy produktsii. Poryadok provedeniya* [Radiation control. Selection and preparation of samples of forest products. Procedure]. Minsk, 2010. 24 p. (In Russian).

9. *Pravila pozharnoy bezopasnosti v lesakh Respubliki Belarus'* [Fire safety rules in the forests of the Republic of Belarus]. Minsk, 2016. 24 p. (In Russian).

10. *Respublikanskiye dopustimyye urovni soderzhaniya tseziya-137 v drevesine, produktsii iz drevesiny i drevesnykh materialov i prochey nepishchevoy produktsyi lesnogo khozyaystva* [Republican permissible limits of cesium-137 content in the wood, wood products and wood-based materials and other non-food

forest products (RDU\LH-2001): GN 2.6.1.10-1-01-2001]. Minsk, 2001 (In Russian). Available at: radbez.bsmu.by (accessed 20.02.2021).

11. *Respublikanskiye dopustimyye urovni soderzhaniya radionuklidov tseziya-137 i strontsiya-90 v pishchevykh produktakh i pit'yevoy vode* [Republican permissible limits of cesium-137 and strontium-90 radionuclides content in food and drinking water (RDU-99): GN 10-117-99]. Minsk, 1999 (In Russian). Available at: tpa.by/#!/FileText/ (accessed 20.02.2021).

12. Azovskaya N. O., Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A. Research of the degree of radioactive pollution of food forest products and its contribution to the load population load. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 2 (210), pp. 251–258 (In Russian).

13. Shutov V. N., Bruk G. J., Kaduka M. V. The role of mushrooms and berries in the formation of the internal dose of the population of Russia after the Chernobyl accident. *ZNiSO* [ZNiSO], 1998, no. 2, pp. 19–23 (In Russian).

14. Shutov V. N., Kaduka M. V., Bruk G. J. Dynamics of radioactive contamination of natural food products after the accident at the Chernobyl NPP. *ZNiSO* [ZNiSO], 2003, no. 4, pp. 9–12 (In Russian).

15. Kaduka M. V., Shutov V. N., Bruk G. J. The role of mushrooms in the formation of the internal dose of the population after the Chernobyl accident. Radioactivity after nuclear explosions and accidents. *Trudy Mezhdunar. konf., Moskva, 5–6 dekabrya 2005* [Proceedings of the international conference], Moscow, 5–6 December 2005]. St. Petersburg, 2006, vol. 3, pp. 230–239 (In Russian).

16. Perevolotsky A.N., Perevolotskaya T. V. Predicting assessment of ^{137}Cs in forest mushrooms and berries in the area of the regular fallouts of the Belarusian NPP. *Radiatsiya i risk* [Radiation and risk], 2013, vol. 22, no. 2, pp. 61–66 (In Russian).

17. Bayrashevskaya D. A. *Formirovaniye dozy vnutrennego oblucheniya naseleniya, upotreblyayushchego produkty zagryaznennykh lesnykh ekosistem* [Formation of internal exposure doses of the population consuming food products of contaminated forest ecosystems]. Minsk, MGEU imeni A. D. Sakharova Publ., 2005. 330 p.

18. Karbanovich L. N., Vostokova Zh. I., Kuntsevich N. N. *Pamyatka "Vy sobiraetes' v les…". Rekomendacii dlya naseleniya po pol'zovaniyu lesami na territorii Krasnopol'skogo leskhoza* [Memo "You are going to the forest ...". Recommendations for the population on the use of forests on the territory of the Krasnopol'skii leskhoz]. Minsk, 2012. 32 p. (In Russian).

Информация об авторах

Чернушевич Григорий Алексеевич – старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gregory1946@rambler.ru

Азовская Наталья Олеговна − кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: azovskaya_natasha@tut.by

Домненкова Алеся Владимировна − кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: domnenkova@belstu.by

Киселев Сергей Владимирович − кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kiselev@belstu.by

Information about the authors

Chernushevich Grigoriy Alekseevich − Senior Lecturer, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gregory1946@rambler.ru

Azovskaya Natal'ya Olegovna – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: azovskaya_natasha@tut.by

Domnenkova Alesia Vladimirovna – PhD (Agriculture), Assistant Proffesor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: domnenkova@belstu.by

Kiselev Sergey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kiselev@belstu.by

Поступила 22.03.2021

УДК 628.39

В. Е. Левкевич[2], Г. И. Касперов[1], У. В. Зязюля[1],
[1] Белорусский государственный технологический университет
[2] Белорусский национальный технический университет

ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ВОДОЕМОВ КАРЬЕРНОГО ТИПА

В статье приведены результаты научных исследований по заданию 3.1.33 «Разработать комплексную оценку влияния карьерных водоемов на безопасность эксплуатации карьеров в местах добычи полезных ископаемых» ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», подпрограмма «Научное обеспечение безопасности человека, общества и государства».

Международный и отечественный опыт в области обеспечения безопасности опасных объектов, в том числе и водоемов карьерного типа, связан с разработкой методик, позволяющих оценивать и прогнозировать современные опасные геодинамические процессы, имеющие место на карьерных водоемах, которые могут приводить к риск-ситуации и человеческим жертвам. Разработка методов прогнозирования и моделирования их интенсивности и масштабов с оценкой возможного риска на основе данных натурных исследований является актуальной и важной задачей.

Приведены и проанализированы разные подходы исследователей к концепциям, количественным и качественным характеристикам терминов «риск» и «оценка риска». Рассматривая водные объекты с позиции сложных природно-технических систем, исследователи отмечают, что риск аварий на таких объектах существует всегда и определенный уровень риска заложен в нормы их безопасности. Авторы подчеркивают, что важно знать, какой уровень риска или безопасности приемлем и обеспечивает достижение максимальной выгоды при минимальной опасности.

Ключевые слова: риск, водоем, карьер, опасность, безопасность, чрезвычайные ситуации.

Для цитирования: Левкевич В. Е., Касперов Г. И., Зязюля У. В. Применимость методов оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций для водоемов карьерного типа // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 306–312.

V. Ye. Levkevich[2], G. I. Kasperov[1], U. V. Zyazyulya [1]
[1] Belarusian State Technological University
[2] Belarusian National Technical University

APPLICABILITY OF THE METHODS FOR THE ASSESSMENT OF EMERGENCY RISKS AT QUARRY LAKES

The article presents the results of scientific research on task 3.1.33 “To develop integrated parameters for the assessment of quarry lakes impact on quarries operations safety at mining locations” conducted within the subprogram “Scientific support of human, society and state safety and security” of the State Research Program “Informatics and Space, Scientific Basis for Safety and Emergency Control”.

International and domestic experience in the field of the of hazardous facilities (incl. quarry lakes) safety control, includes the development of methods that allow to assess and predict modern hazardous geodynamic processes in quarry lakes, which can lead to risk situations and fatalities. The development of methods for forecasting and modelling these processes intensity and scale with possible risk assessment based on field research data is an urgent and important task.

Various approaches of researchers on the concepts, quantitative and qualitative characteristics of the term “risk” and “risk assessment” are presented and analysed. Considering water bodies as complex natural and technical systems, the researchers note that the risk of accidents at such facilities always exists and a certain level of risk is embedded in their safety standards. The authors emphasize that it is important to know what level of risk or safety is acceptable and ensures that the maximum benefit is achieved with the minimum danger.

Key words: risk, water body, quarry, danger, safety, emergency.

For citation: Levkevich V. Ye., Kasperov G. I., Zyazyulya U. V. Applicability of the methods for the assessment of emergency risks at quarry lakes. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246) pp. 306–312 (In Russian).

Введение. Добыча полезных ископаемых открытым способом приводит к образованию горных выработок различной глубины и конфигурации. При эксплуатации горных выработок глубиной 50 м и более под воздействием различных гидрогеологических, геологических и гидрологических факторов происходит изменение качественных и количественных характеристик прилегающей территории. Одной из причин, характерных для всех карьеров, является образование карьерных водоемов, затрудняющих разработку ресурсов, приводящих к развитию риск-ситуаций. Необходимость прогнозирования влияния водоемов на безопасную эксплуатацию карьеров, а также предполагаемых изменений структуры ландшафтов после прекращения работ по водоотливу (при его наличии) требует дополнительных расчетов и оценок возможных экологических рисков с учетом сложившихся горнотехнических, геологических и гидрогеологических условий, а также техногенных факторов.

Предупреждение возникновения рисков, связанных с появлением карьерных водоемов может базироваться на современных методах прогнозирования процессов, их моделирования с использованием численных методов, а также возможностей ГИС-технологий.

В настоящий момент в Республике Беларусь отсутствует методика, позволяющая оценивать и прогнозировать современные опасные геодинамические процессы, имеющие место на карьерных водоемах, которые могут приводить к риск-ситуации и человеческим жертвам. Разработка методов оценки деформаций откосов под воздействием природно-техногенных факторов, а также прогнозирование и моделирование их интенсивности и масштабов с оценкой возможного риска на основе данных натурных исследований является актуальной и важной задачей.

До настоящего времени отсутствует опыт моделирования устойчивости откосов карьерных водоемов с прогнозированием риск-ситуаций, обусловленных изменением гидрологических, гидрогеологических, ландшафтно-геохимических условий территории в процессе добычи полезного ископаемого, а также после окончания выработки.

Основная часть. При любом способе добычи полезных ископаемых происходит значительная выемка пород и их перемещение, что отрицательно влияет на природную среду. Первичный рельеф заменяется техногенным, что ведет к возрастанию экологического риска. Открытый способ добычи полезных ископаемых имеет свою специфику. Значительные разрушения земной поверхности и существующая технология добычи полезных ископаемых приводят к тому, что карьер, дробильно-обогатительные комплексы и другие промышленные объекты в той или иной степени являются источниками разрушения и загрязнения окружающей среды. При карьерных разработках риск возникновения опасных процессов связан с техногенными воздействиями и с активизацией различных физических, химических, геологических и гидрогеологических процессов [1].

По литературным данным, а также базе Минприроды установлено, что в Беларуси эксплуатируется более двух тысяч карьеров (табл. 1) из них 63 единицы – это промышленные карьеры с большой глубиной выработки (более 20 м) и возможным образованием карьерных водоемов, затрудняющих эксплуатацию объектов [2, 3].

Таблица 1

Карьеры строительных материалов Беларуси

Область	Общее кол-во карьеров	Площадь, га	Промышленные карьеры		
			Полезное ископаемое	Кол-во карьеров	Площадь, га
Брестская	482	829	ПГС, песок, гравий, камень, глина, мел	72	375
Витебская	390	958	ПГС, песок, глина. доломит	89	772
Гомельская	371	1041	ПГС, песок, гравий, камень, глина, керамзит	64	753
Гродненская	364	1410	ПГС, песок, глина, мел, сопропели	103	1047
Минская	386	895	ПГС, песок, глина, мел, ГПС, ГПМ	88	712
Могилевская	258	1146	ПГС, песок, глина, мел, маргель	52	912
Всего	2251	6279		468	4571

Существуют различные трактовки и определения терминов «риск» и «оценка риска» как в отечественной, так и зарубежной литературе. По мнению Г. Л Коффа. и И. В. Чесноковой [4], в буквальном переводе «риск» означает принятие решения, результат которого неизвестен и может быть небезопасен.

Первой концепцией, в соответствии с которой осуществлялось обеспечение безопасности и определение риск-ситуаций, являлась концепция так называемого «оправданного риска» (ALAPA – as low as practicably achievable) [5]. Согласно этой концепции, при наличии любого уровня риска его необходимо уменьшить до нулевого значения. Однако не всегда снижение риска до нулевого уровня является целесообразным и возможным. Этот момент нашел свое отражение в концепции «приемлемого риска» (ALARA – as low as reasonable achievable), к которой перешли многие страны с 70-х гг. XX века [6]. Согласно данной концепции, следует принимать во внимание только те риски, сокращение которых целесообразно по экономическим или социальным причинам [6, 7].

Как отмечают Г. Л. Кофф и И. В. Чеснокова [4], риск является событием с отрицательными, особо невыгодными последствиями, которые возможно наступят в будущем в какой-то момент в неизвестных размерах. По мнению данных исследователей, содержание риска и степень вероятности риска определяют и границы страховой защиты. Г. А. Моткин [8] рассматривает многообразие определений – от понятия риска как вероятности до определения его как вида возможных потерь. При анализе работ В. Маршала, В. А. Еременко, И. В. Сутокского, Ю. Л. Муромуева, Б. В. Гидаспова, С. Д. Бешелева, Г. С. Потехина, С. А. Айвазяна, И. Барда, Ш. Зака, М. Де Грота, В. И. Васильева, Е. Дж. Хенли необходимо остановиться на определении, предложенном В. Г. Горским, В. А. Акимовым, Н. Н. Радаевым, В. В. Лесных, поскольку они рассматривают риск как двумерную величину, включающую и вероятность наступления нежелательного случайного события, и связанные с этим событием потери [6].

Рассмотрение риска как гипотетической возможности наступления ущерба предложено в работе [9], где утверждается, что риск реализуется и приобретает конкретные очертания только через ущерб. По мнению авторов [10], риск может измеряться абсолютной величиной потерь, затратами на снижение до приемлемого уровня, тяжестью (восполнимостью ущерба).

В соответствии с точкой зрения А. Л. Рогозина [11, 12], рассматриваемое понятие включает в себя три составляющих: вероятность возникновения неблагоприятного события, возможный ущерб, нанесенный этим событием, и произведение вероятности негативного события и размеров ожидаемого ущерба.

В работах В. Г. Горского, Г. А. Моткина, Т. Н. Швецовой-Шиловской, В. Е. Курочкина, Ю. Л. Воробьева, В. А. Акимова, В. В. Лесных, Н. Н. Радаева риск рассматривается с двух позиций: объективной и субъективной. Объективное существование риска авторы связывают с вероятностной сущностью многих процессов, которые образуют сложные системы. Функционирование и развитие данных систем основывается на статистических вероятностных законах. В данном контексте понятие «риск» выступает как синоним понятия «опасность» [7, 8]. Однако данный подход не может быть применим ко всем сложным системам.

Рассматривая с данной позиции водохранилища как сложные природно-технические системы, в работах А. М. Трофимова, В. М. Котлякова и др. [13, 14] отмечается, что риск аварий на водных объектах существует всегда и определенный уровень риска заложен в нормы их безопасности. Авторы подчеркивают, что важно знать, какой уровень риска или безопасности приемлем и обеспечивает достижение максимальной выгоды при минимальной опасности. Субъективная сторона риска связана, прежде всего, с существованием человеческого фактора. Если человек решил возводить опасные гидродинамические объекты, то в первую очередь он должен понимать, что подвергает себя и других людей определенной степени риска.

Наиболее подробно толкование термина «риск чрезвычайных ситуаций» применительно к повреждениям гидротехнических сооружений представлено в работе Л. К. Малик [15]. Для применения данного термина к опасным гидродинамическим объектам Республики Беларусь были выделены три группы определений, которые характеризуют отношение различных исследователей к данной проблеме (табл. 2).

В первую группу относятся определения, которые рассматривают «риск» с точки зрения страхования от проявления его негативных процессов [4, 8, 9].

Ко второй группе относятся определения, которые под термином «риск» понимают только величину ущерба от проявления негативных последствий либо вероятность наступления неблагоприятных факторов чрезвычайных ситуаций [4, 6, 9, 10].

В третью группу были отнесены определения, которые включают в себя две и более составляющих: вероятность наступления неблагоприятных факторов, возможный ущерб от их проявления либо произведение вероятности на возможный (ожидаемый) ущерб [11, 12].

Таблица 2

Существующие определения термина «риск возникновения чрезвычайных ситуаций»

Автор определения	Группа	Основные составляющие определений
Кофф Г. Л., Чеснокова И. В. Моткин Г. А.	I	Возможность наступления страховых отношений
Шаликовский А. В.		Сокращение вероятности возникновения или уменьшения возможного ущерба
Ретман Л. И., Шахов В. В., Рудницкий В. В., Валдайцев С. В., Соловьева С. А., Новосельцев В. Н. и др.		Опасность неблагоприятного исхода на одно ожидаемое явление
Чеснокова И. В., Лихачева Э. Л.	II	Ущерб от реализации неблагоприятных событий
Курбатова А. С., Мягков С. М., Шныпарков А. Л.		Абсолютная величина потерь, затраты на снижение до приемлемого уровня риска
Алексеевский Н. И., Антонова М. М.		Величина потенциальных ущербов отдельных опасных процессов
Прохорова Н. Б., Поздина Е. А., Шаляпина И. Л., Андрианова Л. А.		Вероятность наступления событий, вызванных негативным действием воды
Воробьев Ю. Л., Локтионов Н. И., Фалеев М. И.		Вероятность наступления неблагоприятного события
Алымов В. Т., Тарасова Н. П.		Возможная опасность потерь
Хохлов Н. В.		Событие или группа событий, наносящих ущерб объекту
Кофф Г. Л., Чеснокова И. В.		Гипотетическая возможность наступления ущерба
Чернова Г. В., Кудрявцев А. А.		Возможность неблагоприятного исхода случайного события
Маршал В., Еременко В. А., Зак Ш., Сутокский И. В., Муромуев Ю. Л., Гидаспов Б. В., Бешелев С. Д., Потехин Г. С., Айвазян С. А., Бард И., Де Грот М., Васильев В. И., Хенли Е. Дж., Горский В. Г., Моткин Г. А., Курочкин В. Е.	III	Вероятность наступления нежелательного случайного события и связанные с этим событием потери
Рогозин А. Л.		Вероятностная мера опасности и возможных потерь за определенное время
Трофимов А. М., Котляков В. М., Селиверстов Ю. П., Зайнуллина А. Р.;		Вероятность (частота) появления неблагоприятных событий на величину возможного ущерба
Воробьев Ю. Л.		Вероятность неблагоприятного события и объем этого события (потери, ущерб, убытки)
Акимов В. А., Новиков В. Д., Радаев Н. Н.		Возможность того, что человеческие действия или результаты его деятельности приведут к последствиям, которые воздействуют на человеческие ценности
РД 03-418-01		Возможность возникновения аварии и тяжесть ее последствий
Лепихин А. П.		Вероятность реализации аварийных ситуаций и возможный ущерб при ее реализации
Розанов Н. Н., Волохова М. Н., Муратова Л. Н., Тейтельбаум А. И.		Интегральные показатели риска, вероятностная мера опасности в виде возможных потерь
ГОСТ Р 51901–2002		Вероятность неблагоприятного события и его последствий
Воробьев Ю. Л., Локтионов Н. И., Фалеев М. И.		Вероятность наступления нежелательного события и связанные с ним потери
РД 03-418-01		Мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии и тяжесть ее последствий
Владимиров В. А., Измалков В. И., Измалков В. А.		Вероятность возникновения аварии и величина ущерба от нее

Под термином «оценка риска чрезвычайных ситуаций» подразумевается произведение вероятности возникновения (наступления) неблагоприятных событий и связанных с данными событиями отрицательных последствий (ущерб). Формулировка данного термина также была предложена А. Л. Рогозиным [11, 12], А. М. Трофимовым [13, 14] и Л. К. Малик [15].

Заключение. В результате проведенного анализа литературных и научных публикаций по существующим подходам к определениям термина «риск возникновения чрезвычайных ситуаций» установлено, что:

– проявление современных геодинамических процессов и недоучет возможности их возникновения, как показывает практика, может приводить к возникновению чрезвычайных ситуаций и рисков с человеческими жертвами и значительными материальными ущербами;

– значительная глубина выработки карьеров от 10 м и более приводит к нарушению гидрогеологического режима территории и ведет к образованию карьерных водоемов значительных линейных размеров [16];

– образование водоемов карьерного типа затрудняет добычу полезных ископаемых, приводит к нарушению устойчивости откосов (бортов) карьерных водоемов, а в ряде случаев к развитию поверхностной овражной эрозии, осыпанию (при несвязных грунтах) и оползанию склонов в связных породах [16];

– анализ научных работ, связанный с определением термина «риск возникновения чрезвычайных ситуаций», оценкой и прогнозированием риск-процессов, показал, что наиболее приемлемыми и соответствующими условиям Республики Беларусь являются методы, изложенные в работах А. Л. Рогозина. [11, 12] и Л. К. Малик [11, 12]. Такой вывод позволяет заключить, что данные предложения следует рекомендовать для практического использования в условиях нашей республики.

Список литературы

1. Экологическая и промышленная безопасность при освоении месторождений полезных ископаемых государств-участников СНГ. Исполнительный комитет СНГ. М., 2014. 42 с.

2. Современная динамика рельефов Беларуси: монография / под. ред А. В. Матвеева. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 102 с.

3. Отчет о НИР: «Разработать и внедрить комплексный подход восстановления нарушенных экосистем в местах добычи полезных ископаемых» / М. А. Ересько [и др.]. Минск: БелНИЦ «Экология», 2017. 125 с.

4. Кофф Г. Л., Чеснокова И. В. Информационное обеспечение страхования от опасных природных процессов (на примере землетрясений). М.: ПОЛТЕКС, 1998. 102 с.

5. Егоров А. Ф., Савицкая Т. Ф. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. М.: Химия; Колос С, 2004. 416 с.

6. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. С. 12–17.

7. Хохлов Н. В. Управление риском. М.: Юнити, 1999. 142 с.

8. Моткин Г. А. Основы экологического страхования. М.: Наука, 1996. 192 с.

9. Котляков В. М. Стихийные природные процессы: страхование их последствий // Стихийные природные процессы: географические, экологические и социально-экономические аспекты. М.: НЦ ЭНАС, 2002. С. 68–73.

10. Курбатова А. С., Мягков С. М., Шныпарков А. Л. Природный риск для городов России. М.: НИиПИ экологии города, 1997. 240 с.

11. Рогозин А. В. Десятилетие анализа природных рисков России: прошлое, настоящее, будущее // Оценка и управление природными рисками: материалы Общерос. конф. «Риск – 2000». М., 2000. С. 206–210.

12. Рогозин А. В. Современные методы и проблемы количественной оценки и управления природными рисками // Оценка и управление природными рисками: материалы Всерос. конф. «Риск – 2003». М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2003. Т. 1. С. 350–354.

13. Основные подходы к решению проблемы риска / А. М. Трофимов [и др.] // Известия РГО. 1999. Т. 131, вып. 4. С. 1–8.

14. Социально-экономическая концепция приемлемого риска / А. М. Трофимов [и др.] // Известия РГО. 2000. Т. 132, вып. 3. С. 22–28.

15. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблема безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.

16. Разработать комплексную оценку влияния карьерных водоемов на безопасность эксплуатации карьеров в местах добычи полезных ископаемых: отчет о НИР (заключ.); рук. темы Г. И. Касперов. Минск, 2020. 192 с. ГР № 20192245.

References

1. *Ekologicheskaya i promyshlennaya bezopasnost' pri osvoyenii mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh gosudarstv-uchastnikov SNG. Ispolnitel'nyy komitet SNG* [Environmental and industrial safety in the development of mineral deposits of the CIS member states. CIS Executive Committee]. Moscow, 2014. 42 p.

2. Matveyev A. V., Nechiporenko L. A, Pavlovskii A. I., Sachek G. I., Zernitskaia E. A., Krutous L. A., Mastiulin L. A., Makhnach N. A., Simakova G. I., Shishonok I. A., Volskaia L. S., Komyshenko G. A., Korsakova O. P., Levkevich V. E. *Sovremennaya dinamika rel'yefov Belarusi* [Modern dynamics of the relief of Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1991. 102 p.

3. Eresko M. A., Putiatin U. V., Levkevich V. E., Burak V. M., Makarevich N. V., Zaripov T. I., Chernushevich M. V., Bautrel E. V., Avkhimovich A. N., Volakhanovich M. U., Golubovich M. P., Buuzuk A. V., Mikanovich D. S. *Razrabotat' i vnedrit' kompleksnyy podkhod vosstanovleniya narushennykh ekosistem v mestakh dobychi poleznykh iskopaemykh* [Research report: "To develop and implement an integrated approach to the restoration of disturbed ecosystems in places of mining"]. Minsk, BelNITS "Ekologiya", 2017. 125 p.

4. Koff G. L., Chesnokova I. V. *Informatsionnoye obespecheniye strakhovaniya ot opasnykh prirodnykh protsessov (na primere zemletryaseniy)* [Information support of insurance against dangerous natural processes]. Moscow, POLTEKS Publ., 1998. 102 p.

5. Yegorov A. F., Savitskaya T. F. *Upravleniye bezopasnost'yu khimicheskikh proizvodstv na osnove novykh informatsionnykh tekhnologiy* [Chemical production safety management based on new information technologies]. Moscow, Khimiya Pabl.; Kolos S Publ., 2004. 416 p.

6. Akimov V. A., Lesnykh V. V., Radayev N. N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh* [Fundamentals of risk analysis and management in the natural and man-made spheres]. Moscow, Delovoy ekspress Publ., 2004. 64 p.

7. Khokhlov N. V. *Upravleniye riskom* [Risk management]. Moscow, Yuniti Publ., 1999. 142 p.

8. Motkin G. A. *Osnovy ekologicheskogo strakhovaniya* [Fundamentals of environmental insurance]. Moscow, Nauka Publ., 1996. 192 p.

9. Kotlyakov V. M. Natural disasters: insurance of their consequences. *Stikhiynyye prirodnyye protsessy: geograficheskiye, ekologicheskiye i sotsial'no-ekonomicheskiye aspekty* [Natural disasters: geographical, environmental, and socio-economic aspects]. Ed. by V. M. Kotlyakova. Moscow, NTS ENAS Publ., 2002, pp. 68–73.

10. Kurbatova A. S., Myagkov S. M., Shnyparkov A. L. *Prirodnyy risk dlya gorodov Rossii* [Natural risk for Russian cities]. Moscow, NIiPI ekologii goroda Publ., 1997. 240 p.

11. Rogozin A.V., Decade of Natural Risk Analysis in Russia: Past, Present, and Future. *Otsenka i upravleniye prirodnymi riskami: materialy Obshcherossiyskoy konferentsii "Risk – 2000"* [Natural risk assessment and management: materials of the all-Russian conference "Risk – 2003"]. Moscow, 2000, pp. 206–210 (In Russian).

12. Rogozin A. V., Modern methods and problems of quantitative assessment and management of natural risks. *Otsenka i upravleniye prirodnymi riskami: materialy Vserossiyskoy konferentsii "Risk – 2003"* [Natural risk assessment and management: materials of the all-Russian conference "Risk – 2003"]. Moscow, 2003, pp. 350–354 (In Russian)

13. Trofimov A. M. The main approaches to solving the problem of risk. *Izvestiya RGO* [News RGO]. 1999, vol. 131, issue 4, pp. 1–8 (In Russian).

14. Trofimov A. M. Socio-economic concept of acceptable risk. *Izvestiya RGO* [News RGO]. 2000, vol. 132, issue 3, pp. 22–28 (In Russian).

15. Malik L. K. *Faktory riska povrezhdeniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Problema bezopasnosti* [Risk Factors of Hydraulic Structures Damaging. Safety Issues]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 354 p.

16. *Razrabotat' kompleksnuyu otsenku vliyaniya kar'yernykh vodoyemov na bezopasnost' ekspluatatsii kar'yerov v mestakh dobychi poleznykh iskopayemykh: otchet o NIR* [Develop a comprehensive assessment of the impact of quarry reservoirs on the safety of quarry operations in mining areas: research report]. Theame leader G. I. Kasperov. Minsk, 2020. 192 p. GR No. 20192245.

Информация об авторах

Левкевич Виктор Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, Республика Беларусь). E-mail: eco2014@tut.by

Касперов Георгий Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: borki1959@mail.ru

Зязюля Ульяна Владимировна – студентка 3-го курса инженерно-экономического факультета. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ulanaziz@mail.ru

Information about the authors

Levkevich Viktor Yevgen'yevich – DSc (Engineering), Professor, Professor, of the Department of Water Supply and Drainage. Belarusian National Technical University (65-1, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eco2014@tut.by

Kasperov Georgiy Ivanovich – PhlD (Engineering), Assotiate Professor, Head of the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: borki1959@mail.ru

Zyazyulya Uluana Vladimirovna – 3rd year student of the Faculty of Engineering and Economics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ulanaziz@mail.ru

Поступила 28.02.2021

УДК 674.023

М. Н. Пищов[1], С. Е. Бельский[1], Адель Абдель Вассет Рашид[2], А. В. Вергейчик[1]
[1] Белорусский государственный технологический университет
[2] Бейрутский Арабский Университет (Ливан)

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЯДА КОНСТРУКЦИОННЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Эксплуатационные свойства и долговечность деталей подвижных сопряжений в значительной степени определяются состоянием их рабочих поверхностей, многие из которых подвержены контактным нагрузкам. Кроме того, на поверхности располагаются основные источники концентрации напряжений, зависящие от формы детали, шероховатости, характера соединений и сил трения в сопряженных деталях.

Во многих случаях в поверхностном слое при нагружении деталей возникают растягивающие напряжения, приводящие к снижению усталостных характеристик материалов. Поэтому для повышения сопротивления усталостному разрушению деталей, работающих в условиях циклического нагружения, очень перспективно использование поверхностного упрочнения.

В данной статье исследовано влияние комплексного борирования на усталостные характеристики конструкционной стали. Показана возможность существенного повышения пределов выносливости образцов из стали 20ХН3А за счет поверхностного упрочнения, определен рациональный состав насыщающей смеси, а также температурно-временные параметры процесса. Также установлена возможность существенного повышения усталостных характеристик инструментальной стали 5Х3В3МФС, обеспеченных проведеной цементацией, что необходимо для изготовления штамповой оснастки.

Ключевые слова: сталь, поверхностное упрочнение, усталостные характеристики, температура, время.

Для цитирования: Пищов М. Н., Бельский С. Е., Адель Абдель Вассет Рашид, Вергейчик А. В. Повышение усталостных характеристик ряда конструкционных и инструментальных сталей поверхностным упрочнением // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 313–319.

M. N. Pishchov, S. Ye. Belsky, Adel Abdel Wasset Rashid, A. V. Vergeichik
[1] Belarusian State Technological University
[2] Beirut Arab University (Lebanon)

IMPROVING FATIGUE CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL AND TOOL STEELS BY SURFACE HARDENING

The operational properties and durability of parts of movable conjunctions are largely determined by the condition of their working surfaces that are subject to contact loads. In addition, the main sources of stress concentration are occur on the surface. The stress depends on the shape of the part, roughness, the nature of the joints and friction forces in the mating parts.

In many cases, tensile stresses occurs in the surface layer when the parts are loaded. It leads to a leads to a decrease in the fatigue characteristics of materials. Therefore, to increase the resistance to fatigue failure of parts working under cyclic loading conditions it is promising to use surface hardening.

This article deals with the influence of complex borating on the fatigue characteristics of structural steel. The possibility of a significant increase in the endurance limits of samples made of 20KHN3A steel is shown, the rational composition of the saturating mixture, as well as the temperature and time parameters of the process are determined. The possibility of a significant increase in the fatigue characteristics of tool steel 5KH3VZMFS by cementation which is necessary for the manufacture of die steel is also specified.

Key words: steel, surface hardening, fatigue characteristics, temperature, time.

For citstion: Pishchov M. N., Belsky S. Ye., Adel Abdel Wasset Rashid, Vergeichik A. V. Improving fatigue characteristics of structural and tool steels by surface hardening. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 313–319 (In Russian).

Введение. Циклические нагрузки широкого амплитудно-частотного диапазона являются одной из основных причин разрушения деталей современных машин.

Разрушение деталей, как правило, начинается с поверхности, так как многие из них подвержены контактным нагрузкам, изгибу, кручению, а также их совместному действию. Кроме того, на поверхности располагаются основные источники концентрации напряжений, зависящие от формы детали, шероховатости, характера соединений и сил трения в сопряженных деталях. Поэтому при решении проблемы повышения износостойкости и долговечности деталей значительное внимание уделяется различным методам упрочнения поверхностных слоев, во многих случаях более эффективным по сравнению с объемными способами обработки деталей. Однако при разработке многих процессов упрочнения, обеспечивающих существенное повышение твердости и сопротивления изнашиванию (например, химико-термической или скоростной термической обработки), часто не учитываются характеристики усталости, что затрудняет применение таких процессов для изделий, работающих в условиях циклического нагружения. Исследований влияния частоты нагружения на развитие процесса усталостного разрушения упрочненных материалов проведено недостаточно, и часто они выполнялись в несопоставимых условиях. Практически отсутствует анализ развития процесса усталостного разрушения материалов, имеющих упрочненные слои и покрытия, что затрудняет определение рациональных параметров поверхностного упрочнения. В работе ставилась цель повышения характеристик усталости конструкционной и инструментальной сталей, используемых в условиях циклических нагрузок. При этом решались задачи экспериментального определения пределов выносливости сталей, имеющих упрочненные слои, а также установления рациональных температурно-временных параметров процесса упрочнения.

Основная часть. Проведенные исследования [1–3] показывают, что многие процессы поверхностного упрочнения, реализуемые посредством химико-термической обработки, обеспечивают на поверхности изделий остаточные напряжения сжатия, благоприятно влияющие на комплекс механических свойств, и в частности усталостные характеристики. При эксплуатации многих деталей, таких как зубчатые колеса трансмиссий мобильных машин, преобладают напряжения растяжения [4, 5]. Установлено, что комплексное борирование обеспечивает снижение суммарных контактных напряжений в поверхностных слоях деталей [6].

Для определения влияния температурно-временных параметров борирования на усталостные характеристики конструкционных сталей проведены испытания экспериментальных образцов в условиях знакопеременного изгиба с использованием оборудования и методик, приведенных в работах [7–12].

Исследования, проведенные на образцах из стали 20ХН3А при разном составе упрочняющей смеси [3], показали, что повышение времени обработки свыше 2,5 ч приводит к постепенному снижению величины числа циклов до наступления разрушения $N_ц$ вследствие коагуляции фазы Fe_2B, а также, как уже отмечалось, образованию в поверхностном слое фазы FeB. По этой причине при использовании традиционного процесса борирования (без дополнительного введения кремния) существенное снижение усталостной долговечности наблюдается уже после обработки в насыщающей смеси в течение 3,0 ч (рис. 1, *а*).

Повышение плотности поверхностного слоя, получаемого при боросилицировании, а также отсутствие фазы FeB приводит к существенному снижению по сравнению с борированием его микрохрупкости [13], что обеспечило возрастание его усталостных характеристик. Преобладание в поверхностном слое фазы Fe_2B способствовало как существенному повышению $N_ц$, так и стабильности данной характеристики при возрастании времени упрочнения до 3,0–4,5 ч (рис. 1, *а*, *б*, кривые *3*, *4*).

Увеличение усталостных характеристик объясняется образованием в поверхностных слоях при боросилицировании остаточных напряжений сжатия. Подобный вывод подтверждает и анализ влияния толщины упрочненного слоя на усталостные характеристики образцов (рис. 2). Показано, что при боросилицировании (содержание в насыщающем составе кремния не менее 20%) повышение толщины слоя не приводит к снижению характеристик усталости.

Результаты испытаний позволили установить повышение предела выносливости σ_{-1} боросилицированных образцов (содержание Si от 20%) по сравнению с борированными в 1,4–1,6 раза при меньшем разбросе долговечности благодаря более однородной структуре упрочненного слоя.

Наряду с повышением усталостных характеристик конструкционной стали посредством комплексного борирования изучена возможность упрочнения штамповой стали 45Х3В3МФС цементацией. Данная сталь широко используется для замены быстрорежущей при изготовлении режуще-деформирующего инструмента, работающего на истирание и испытывающего ударные нарузки.

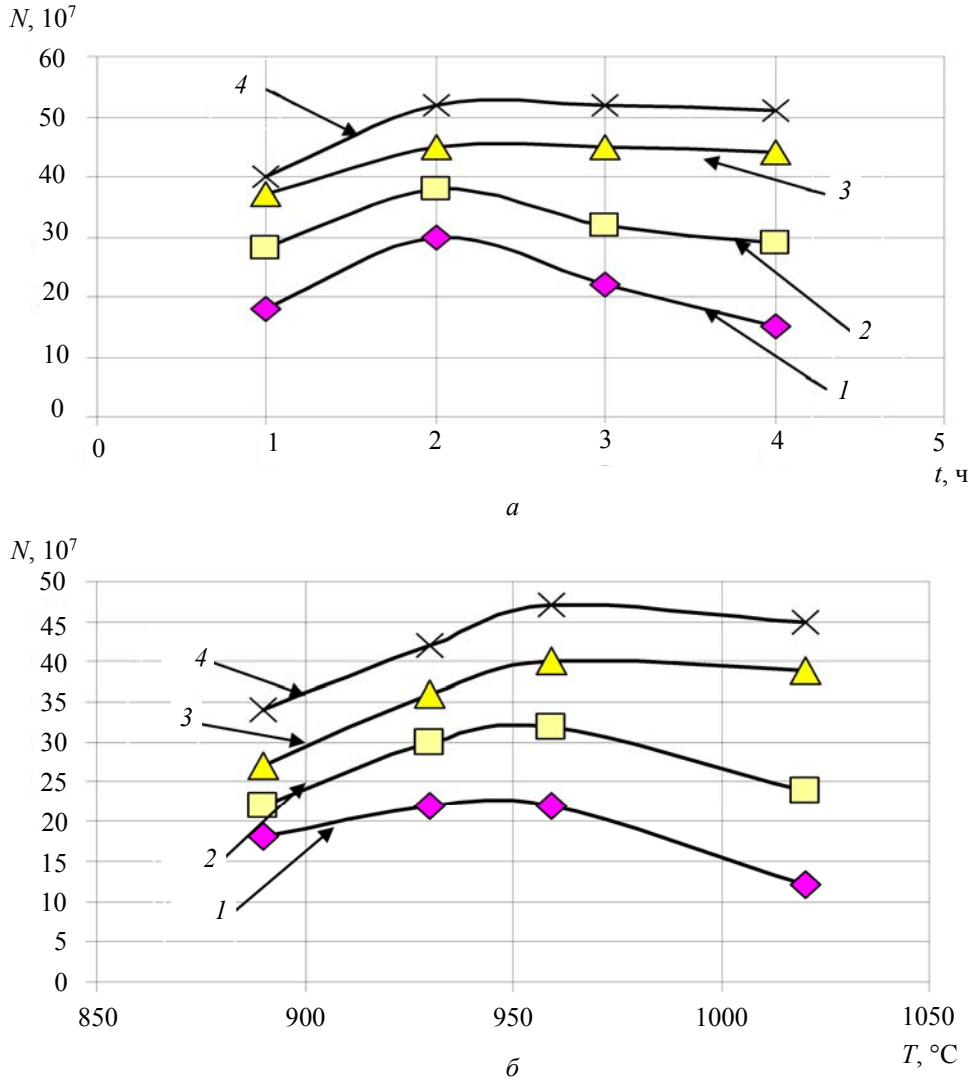


Рис. 1. Влияние времени насыщения (*а*) и температуры (*б*)
при комплексном борированиии на усталостную прочность стали 20ХН3А:
1 – борирование; *2–4* – боросилицирование
(*2* – 10% Si; *3* – 20% Si; *4* – 25% Si)

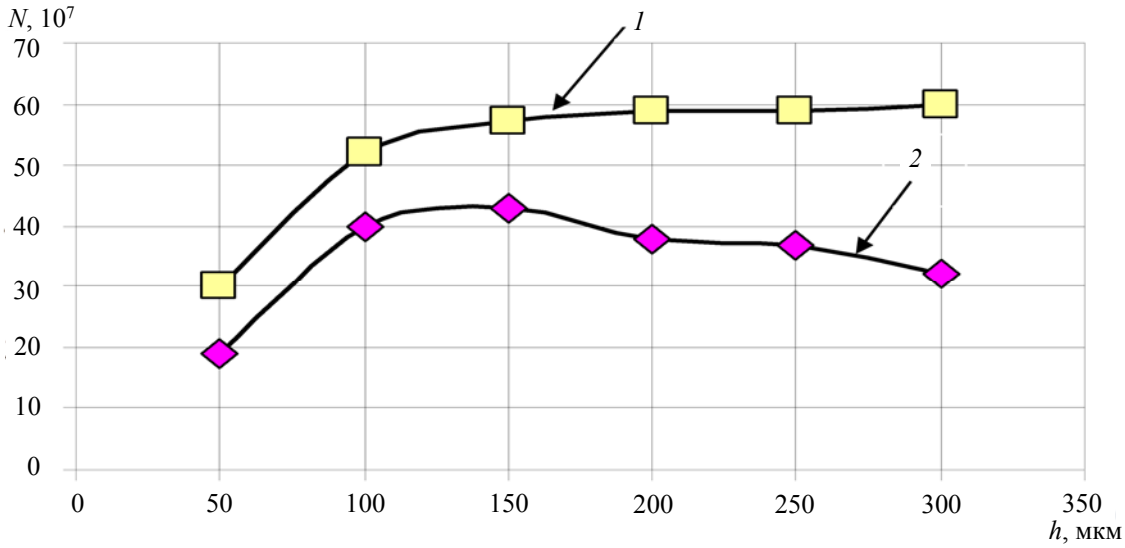


Рис. 2. Влияние толщины упрочненного слоя на усталостную прочность стали 20ХН3А:
1 – боросилицирование (25% Si); *2* – борирование

Результаты испытаний (рис. 3–5) показывают достаточно высокие характеристики усталости как при комнатных, так и при повышенных температурах, что создает предпосылки использования такой стали для изготовления штампов.

Следует отметить, что существенное повышение характеристик усталости достигается при толщине упрочненного слоя 1,0 мм, что обеспечивается при продолжительности процесса порядка 6–7 ч температуре 950°С (рис. 3). Основной причиной повышения числа циклов до разрушения является возникновение в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, благоприятных при работе в условиях знакопеременного нагружения [4, 5]. Как правило, остаточные напряжения сжатия в области локальных пластических деформаций будут замедлять процессы разрушения, протекающие обычно с образованием остаточных напряжений растяжения.

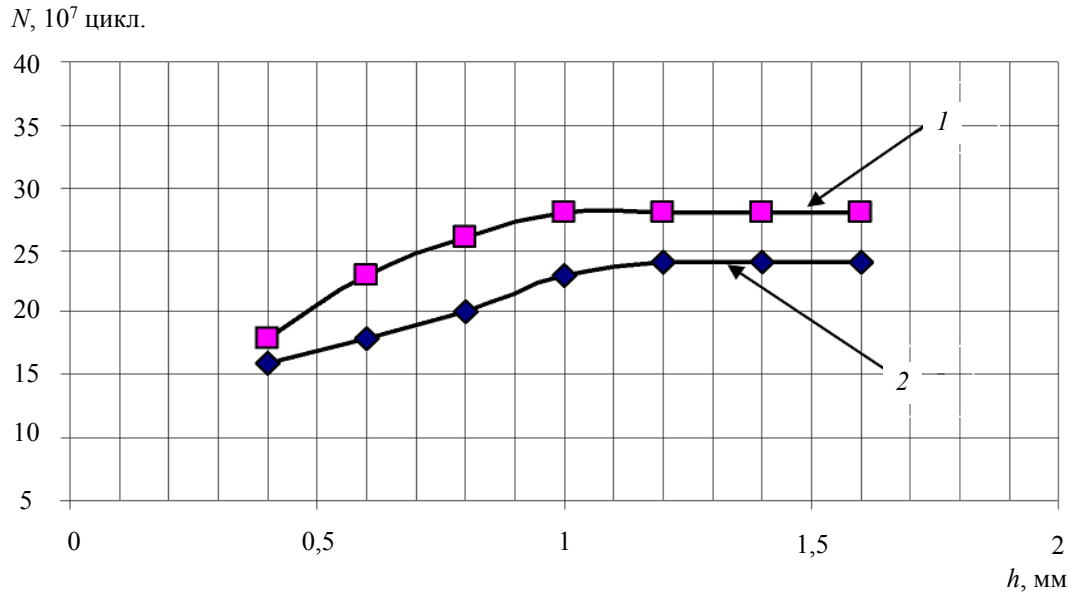


Рис. 3. Влияние толщины упрочненного слоя на усталостную прочность стали 45Х3В3МФС при различных температурах испытаний:
1 – 20°С; *2* – 200°С

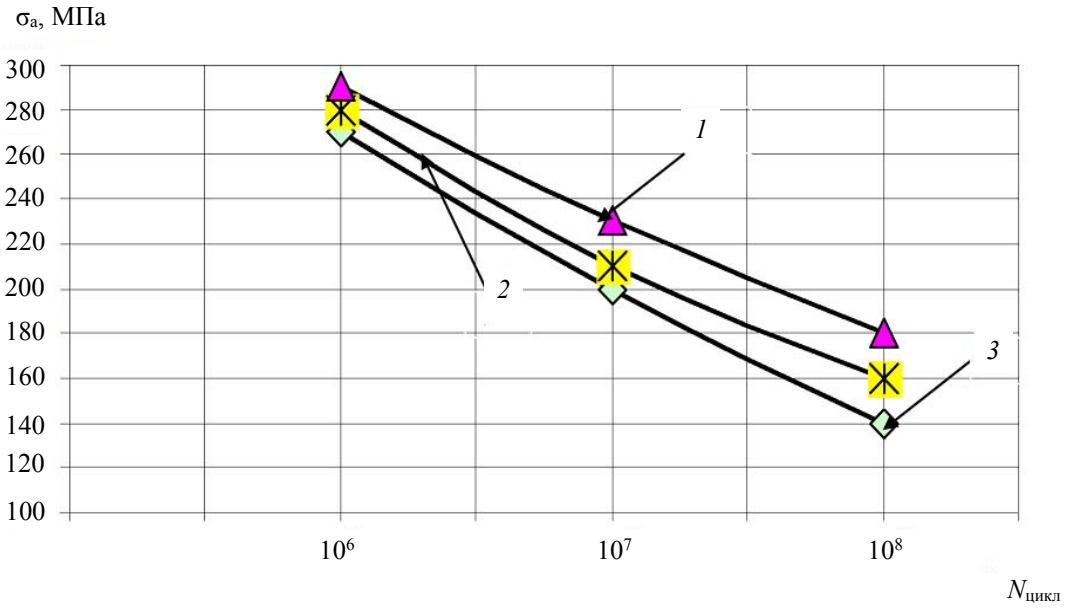


Рис. 4. Усталостные кривые стали 45ХВВ3МФС при различных температурных испытаниях:
1 – 20°С; *2* – 200°С; *3* – 250°С

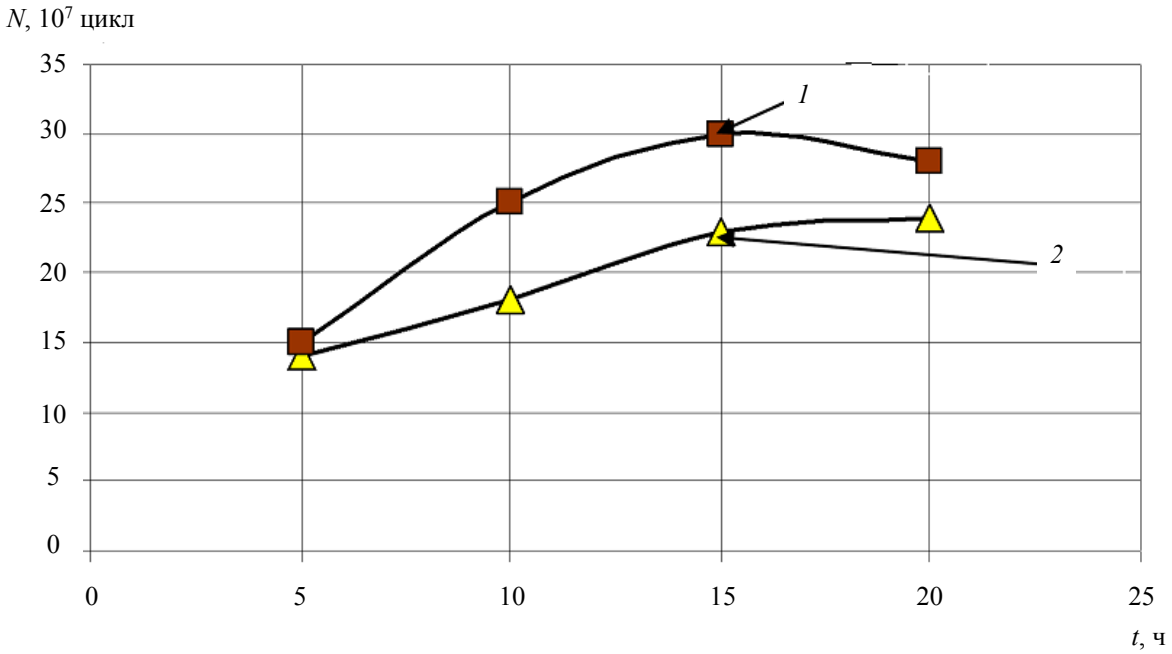


Рис. 5. Влияние температуры и продолжительности цементации на характеристики усталости стали 45Х3В3МФС:
1 – 950°С; *2* – 920°С

Заключение. Существенное (в 1,6–1,7 раза) повышение пределов выносливости образцов из стали 20ХН3А обеспечивается проведением комплексного борирования. Установлено, что наиболее перспективно использование боросилицирования (содержание кремния в смеси 20–25% при температуре обработки 950°С и времени 3–4 ч). Тем самым обеспечивается повышение эксплуатационного ресурса деталей машин, работающих в условиях циклического нагружения. Для повышения усталостной прочности штампованой стали 45Х3В3МТС наиболее перспективно проведение газовой цементации при температуре 950°С и времени 12–16 ч. Показано, что повышение пределов выносливости данной стали обеспечивается как при нормальных, так и повышенных (до 200–250°С) температурах, что необходимо для работы некоторых видов инструмента.

Список литературы

1. Остаточные напряжения при электромагнитной наплавке / П. Н. Ящерицын [и др.] // Весці НАН Беларусі. Серия физико-технических наук. 2000. № 2. С. 62–65.

2. Остаточные напряжения: учеб. пособие / Ж. А. Мрочек [и др.]. Минск. 2003. С. 124–136.

3. Ситкевич М. В., Пищов М. Н., Бельский С. Е. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин // Литье и металлургия. 2008. С. 140–146.

4. Пищов М. Н., Симанович В. А., Бельский С. Е. Исследование условий эксплуатации и динамической нагруженности деталей трансмиссий трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 113–115.

5. Макаревич С. С., Пищов М. Н., Бельский С. Е. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 327–330.

6. Пищов М. Н., Бельский С. Е., Сурус А. И. Методика упрочнения тяжелонагруженных деталей трансмиссии трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 283–287.

7. Блохин А. В., Царук Ф. Ф., Гайдук Н. А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2002. Вып. X. С. 213–215.

8. Блохин А. В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2004. Вып. XII. С. 263–266.

9. Царук Ф. Ф., Бельский С. Е., Блохин А. В. К методике исследования усталостных свойств конструкционных материалов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2003. Вып. XI. С. 233–236.

10. Царук Ф. Ф., Блохин А. В. Развитие метода ускоренного определения усталостных характеристик материалов с использованием высокочастотного нагружения // Трибофатика: тр. IV Междунар. симпозиума, Тернополь, 23–27 сентября 2002 г.: в 2 т. / Тернополь. гос. техн. ун-т им. Ивана Пулюя; редкол.: В. Т. Трощенко [и др.]. Тернополь, 2002. Т. 1. С. 503–506.

11. Царук Ф. Ф., Блохин А. В. Выбор оптимальных геометрических параметров образцов для усталостных испытаний при различных частотах нагружения // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 ноября 2005 г.: в 2 ч. / Бел. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. Минск. 2005. Ч. 2. С. 262–263.

12. Бельский С. Е., Царук Ф. Ф., Блохин А. В. Пороговые напряжения – важная характеристика сопротивления усталости конструкционных материалов // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: сб. тр. 1-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–13 дек. 2002 г.: в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; под общ. ред. П. А. Витязя. Минск. 2002. Т. 2. С. 380–382.

13. Ситкевич М. В., Пищов М. Н., Бельский С. Е. Структура и свойства поверхностных слоев зубчатых передач, упрочненных комплексным борированием // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10-й Междунар. науч.-практ. конф., СПб., 15–18 апреля 2008 г.: в 2 ч. СПб., 2008. Ч. 2. С. 346–353.

References

1. Yashcheritsyn P. N. [et. al.]. Residual stresses. At electromagnetic surfacing. *Vesti NAN Belarusi* [Vesti NAS Belarus], series of physical and technical sciences, 2000, no. 2, pp. 62–65 (In Russian).

2. Mrochek Zh. A., Makarevich S. S., Kozhuro L. M., Pashkevich M. F., Il'yushchenko A. F. *Ostatochnyye napryazheniya: uchebnoye posobiye* [Residual stresses: textbook]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2003. 352 p.

3. Sitkevich M. V., Pishchov M. N., Belsky S. E. Influence of complex boride hardening on the properties and properties of surface layers of steels for the manufacture of gear parts of skidding forest machines. *Lit'ye i metallurgiya* [Casting and Metallurgy], 2008, pp. 140–146 (In Russian).

4. Pishchov M. N., Simanovich V. A., Belsky S. E. Research of operating conditions and dynamic loading of transmission parts of skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 113–115 (In Russian).

5. Makarevich S. S., Pishchov M. N., Belsky S. E. Model of the stress state of the teeth of the transmission parts of skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 327–330 (In Russian).

6. Pishchov M. N., Belsky S. E., Surus A. I. Method of hardening heavily loaded parts of the transmission of skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 283–287 (In Russian).

7. Blokhin A. V., Tsaruk F. F., Gaiduk N. A. Complex of equipment for fatigue testing of technological equipment elements. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2002, issue X, pp. 213–215 (In Russian).

8. Blokhin A. V. Development of a complex of equipment for fatigue testing of structural materials. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2004, issue XII, pp. 263–266 (In Russian).

9. Tsaruk F. F., Belsky S. E., Blokhin A. V. On the method of investigation of fatigue properties of structural materials. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2003, issue XI, pp. 233–236 (In Russian).

10. Tsaruk F. F., Blokhin A. V. Development of the method for determining the fatigue characteristics of materials using high-frequency loading. *Tribofatika: trudy IV Mezhdunarodnogo simpoziuma: v 2 t.* [Tribo-fatique: works of Internacional symposium: in 2 vol.]. Ternopil, 2002, vol. 1, pp. 503–506 (In Russian).

11. Tsaruk F. F., Blokhin A. V. Selection of optimal geometric parameters for samples of fatigue tests at different loading frequencies. *Resurso- i energosberegayushchiye tekhnologii i oborudovaniye, ekologicheski bezopasnyye tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of the International scientific and technical conference "Resource and energy saving technologies

and equipment, environmentally friendly technologies": in 2 vol.]. Minsk, 2005, vol. 2, pp. 262–263 (In Russian).

12. Belsky S. E., Tsaruk F. F., Blokhin A. V. Threshold stresses – an important characteristic of fatigue resistance of structural materials. *Sovremennyye metody proyektirovaniya mashin. Raschet, konstruirovaniye i tekhnologiya izgotovleniya: sbornik trudov: v 3 t.* [Collection of works of 1st Internacional scientific and technical conference "Modern methods of machine design. Calculation, design and manufacturing technology": in 2 vol.]. Minsk, 2002, vol. 2, pp. 380–382 (In Russian).

13. Sitkevich M. V., Pishchov M. N., Belsky S. E. The structure and properties of the surface layers of gears, strengthened by complex borating. *Tekhnologii remonta, vosstanovleniya detaley mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoy osnastki: materialy 10-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: v 2 ch.* [Materials of the 10th International scientific and practical conference "Technologies for repair, restoration and hardening of machine parts, mechanisms, equipment, tools and technological equipment". In 2 parts]. St. Petersburg, 2008, part 2, pp. 346–353 (In Russian).

Информация об авторах

Пищов Михаил Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Pishchou@belstu.by

Бельский Сергей Евграфович – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dmiptu@belstu.by

Адель Абдель Вассет Рашид – Бейрутский Арабский Университет. E-mail: adel_rasheed_1975@hotmail.com

Вергейчик Алексей Викторович – студент факультета технологии органических веществ. Белорусский государственный технологический университет. (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: myshavolodarsky1@gmail.com

Information about the authors

Pishchov Mikhail Nikolayevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological Uiversity (13a, Sverdlova str, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Pishchou@belstu.by

Belsky Sergey Yevgrafovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological Uiversity (13a, Sverdlova str, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dmiptu@belstu.by

Adel Abdel Wasset Rashid – Beirut Arab University, Lebanon, Tyre. E-mail: adel_rasheed_1975@hotmail.com

Vergeichik Aleksey Viktorovich – student, Faculty of Technology of Organic Substances. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str, 220006, Republic of Belarus). E-mail: myshavolodarsky1@gmail.com

Поступила 22.03.2021

УДК 674.053

А. А. Гришкевич, С. А. Гриневич, Г. В. Алифировец
Белорусский государственный технологический университет

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПИЛЫ ДИСКОВОЙ СБОРНОЙ ДЛЯ РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Резание древесины и древесных материалов с использованием лезвийного инструмента является широко используемым видом обработки при изготовлении мебели, столярных изделий, получении щепы и других видов продукции. Механическая обработка древесины и древесных материалов дисковыми пилами занимает в этих видах производств одно из ведущих мест.

Технический прогресс в деревообрабатывающей промышленности, автоматизация и интенсификация технологических процессов, а также повышение качества и точности обработки древесных материалов предъявляют к режущему инструменту все более высокие требования.

Одно из основных требований – высокая производительность. Существует множество конструкций пил дисковых, увеличивающих производительность самого инструмента, однако повышение производительности за счет уменьшения времени на замену инструмента не имеет такого же многообразия конструкций.

Современный дереворежущий инструмент должен обеспечивать точность и качество обработки, обладать высокой износостойкостью, надежностью и долговечностью, быть удобным в подготовке к эксплуатации, обладать минимальным шумообразованием.

В данной работе рассматривается пила дисковая, конструкция которой предполагает уменьшение время простоя оборудования при замене инструмента. При ее проектировании проведены необходимые расчеты на ее работоспособность, разработаны чертежи.

Ключевые слова: резание, пила дисковая, производительность, силы резания, угловые параметры.

Для цитирования: Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Алифировец Г. В. Особенности конструкции пилы дисковой сборной для резания древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов 2021. № 2 (246). С. 320–326.

A. A. Grishkevich, S. A. Grinevich, G. V. Alifirovets
Belarusian State Technological University

DESIGN FEATURES OF THE CIRCULAR SAW FOR WOOD CUTTING

Cutting wood and wood materials using a blade tool is a widely used type of processing in the manufacture of furniture, joinery, wood chips and other products. Mechanical processing of wood and wood materials with circular saws occupies one of the leading places in these types of production.

Technological progress in the woodworking industry, automation and automation of technological processes, as well as improving the quality and accuracy of processing wood materials, place ever higher demands on the cutting tool.

One of the main requirements for the tool is high performance. There are many designs of circular saws that increase the productivity of the tool itself, but increasing productivity by reducing the time to replace the tool does not have the same variety of designs.

Modern wood-cutting tools must ensure the accuracy and quality of the work, have high wear resistance, reliability and durability, be convenient in preparation for operation, and have minimal noise generation.

In this paper, we consider a circular saw, the design of which involves reducing the downtime of the equipment when replacing the tool. When designing it, the necessary calculations were made for its operability, and drawings were developed.

Key words: milling, profiling, cutting forces, angular parameters.

For citation: Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Alifirovets G. A. Design features of the circular saw for wood cutting. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 320–326 (In Russian).

Введение. Пиление древесины круглыми (дисковыми) пилами – самый распространенный процесс механической технологии, отличающийся большим разнообразием конструкций и технологических схем станков [1]. Простота устройства станков, относительно низкая стоимость и высокая производительность способствуют их использованию на всех делительных

операциях первичной и вторичной обработки древесины.

Основная часть. Целью работы является разработка конструкции пилы дисковой со съемными сегментами, дающими возможность сохранить длительный срок службы корпуса пилы и улучшить условия ее замены на шпинделе станка. Выполнив патентный обзор: патент BY 7982 U «Дисковая пила» [2], патент RU 2690879 C1 «Круглая пила по дереву с эффектом самозатачивания» [3], патент SU 1544558 A1 «Дисковая пила» [4], определим задачи проекта.

Задачами работы являются:

– рассчитать силы и мощность резания, режимы эксплуатации, конструктивные элементы и проанализировать работу пилы дисковой сборной;

– провести теоретические исследования с целью определения условий эксплуатации новой конструкции пилы.

На рис. 1 представлена схема пиления дисковыми пилами.

Рассмотрев конструкции дисковых пил, можно провести параллели с металлообработкой, где применяется пила Геллера [5]. Она используется для резки черного и цветного металла при помощи дисковых пил. Сегментная пила является режущим устройством и важной частью фрезерно-отрезного станка, ее главная задача – обработка различных заготовок из металла. Этот инструмент представляет собой диск с закрепленными по краю зубьями, которые называются сегментами. Процесс резки происходит под прямым углом диска к самой заготовке [6].

Способность обрабатывать металлические формы любых размеров возможна благодаря определенным сегментам с разными характеристиками [7].

Для проектирования пилы будем использовать многопильный станок с частотой вращения 4400 мин$^{-1}$. Высота пропила составляет от 15 до 200 мм, а также данный станок имеет жесткую конструкцию, рассчитанную на тяжелые условия работы [8].

Принципиальный вид проектируемой пилы дисковой со съемными сегментами представлен на рис. 2.

Для определения режимов эксплуатации пилы дисковой сборной необходимо произвести расчет скорости резания. Для круглопильного станка примем частоту вращения пилы n = 4400 мин$^{-1}$, а максимальный диаметр пил D = 320 мм.

Рис. 2. Принципиальный вид проектируемой пилы дисковой сборной

Скорость главного движения V, м/с, определим по формуле [9].

$$V = \frac{3{,}14 \cdot 320 \cdot 4400}{60 \cdot 1000} = 73{,}7 \text{ м/с}.$$

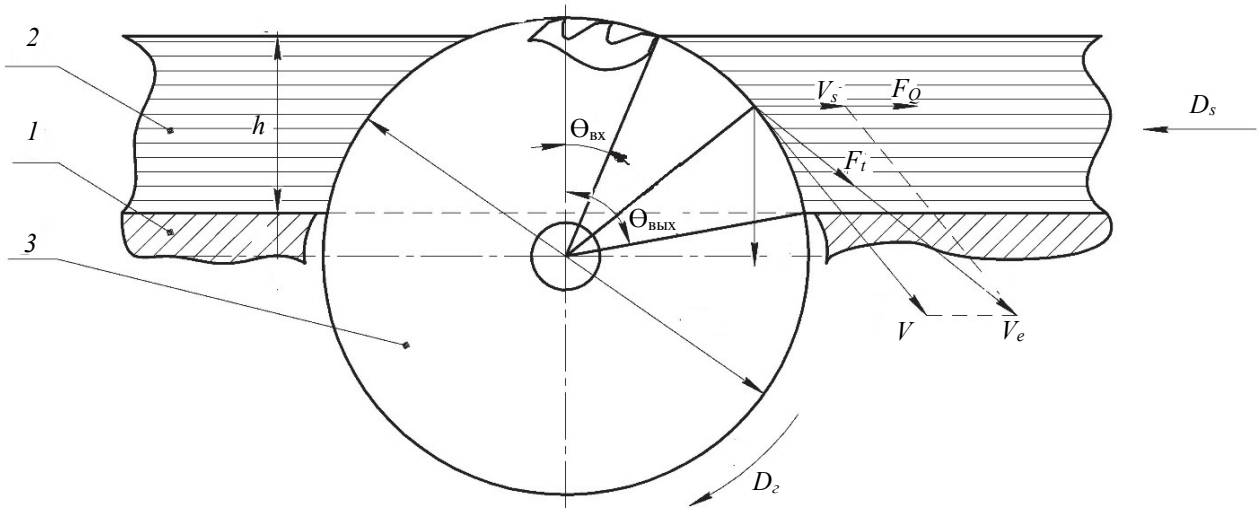


Рис. 1. Схема пиления дисковыми пилами:
1 – стол; *2* – распиливаемый материал; *3* – пила

Диаметр пилы и количество зубьев выбраны по конструкторским соображениям: $D = 320$ мм, $z = 32$. Расчет длины дуги контакта $l_к$, мм, и шага t, мм, выполнено графически с помощью программы «Компас-3D v18.1».

Определение массы и расстояния от оси вращения до центра масс съемного сегмента выполнено графически с помощью программы «Компас-3D v18.1» (рис. 3).

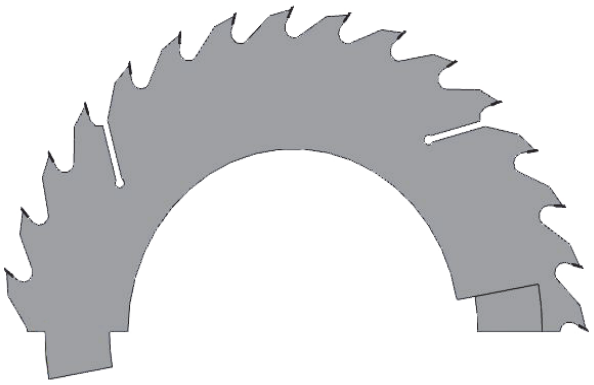


Рис. 3. Графическое определение параметров съемного сегмента

Составим схему действующих сил на сегмент в процессе пиления (рис. 4).

Определим проекции сил на ось y. Проекцию сил инерции $F_и'$, Н, сегмента на ось y рассчитаем как произведение силы инерции $F_и = 10\,179$ Н на косинус угла между вектором силы инерции и осью y, 0°, определенный графически с помощью программы «Компас-3D v18.1».

$$F_и' = 10179 \cdot \cos(0) = 10179 \text{ Н}.$$

Выполним расчет радиальной F_{r1}, Н, и касательной F_{t1}, Н, силы резания для первого зуба. Проекцию радиальной силы от первого зуба F_{r1} рассчитаем как произведение радиальной силы $F_r = 9{,}81$ Н на синус угла между силой и плоскостью, перпендикулярной плоскости y, 11,22°, рассчитанный графически с помощью программы «Компас-3D v18.1».

$$F_{r1} = 9{,}81 \cdot \sin(11{,}22) = 1{,}9 \text{ Н}.$$

Проекцию касательной силы от первого зуба F_{t1} вычислим как произведение касательной силы $F_t = 37{,}9$ Н на косинус угла между силой и плоскостью y, 11,22°, найденный графически с помощью программы «Компас-3D v18.1».

$$F_{t1} = 37{,}9 \cdot \cos(11{,}22) = 37{,}17 \text{ Н}.$$

Расчет касательных и радиальных сил произведем аналогичным образом [10]. Значения сил составят: $F_{t2} = 35{,}02$ Н, $F_{r2} = 3{,}75$ Н, $F_{t3} = 31{,}52$ Н, $F_{r3} = 5{,}44$ Н, $F_{t4} = 26{,}81$ Н, $F_{r4} = 6{,}93$ Н, $F_{t5} = 21{,}07$ Н, $F_{r5} = 8{,}15$ Н, $F_{t6} = 14{,}52$ Н, $F_{r6} = 9{,}06$ Н.

Для расчета крепления предварительно выберем винт А2.М3-6gх3,5.109 (ГОСТ 17475) [11] исходя из конструкторских соображений. Допускаемое напряжение смятия и среза для данного винта составляет $[\tau_{ср}] = 270$ МПа и $[\sigma_{см}] = 360$ МПа соответственно [12].

Схема нагружения винта представлена на рис. 5.

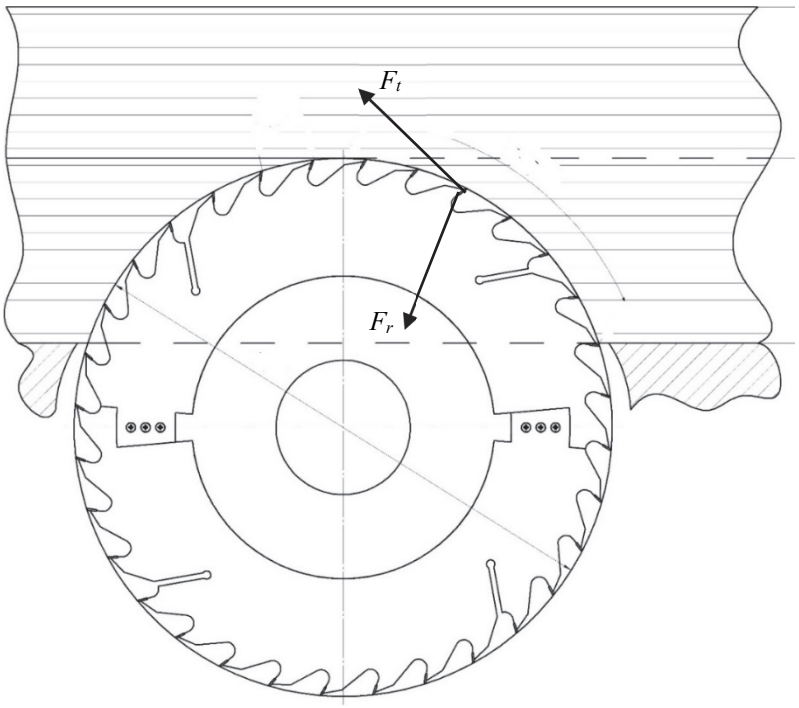


Рис. 4. Схема сил, действующих на сегмент

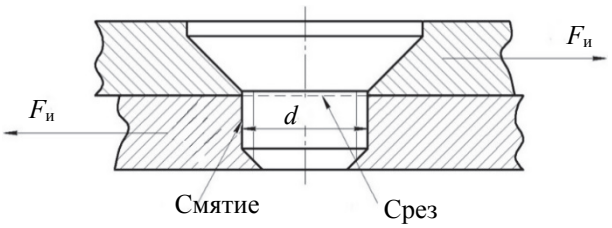


Рис. 5. Схема нагружения элементов крепления сегмента

Итогом данного расчета является то, что для выполнения условия прочности каждый съемный сегмент потребуется крепить 6 винтами A2.M3-6gx3,5.109 (ГОСТ 17475).

Целью теоретических исследований является изучение работы новой конструкции пилы дисковой сборной при разных частотах вращения, а также при разном количестве крепежных винтов и их диаметра.

Задачей исследования является определение:

– влияния частоты вращения пилы n, мин $^{-1}$, на напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа, винтов, а также максимально допустимой частоты ее вращения по каждому из напряжений;

– зависимости диаметра резьбы винта d, мм, их количества от напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа, а также минимального их количества и диаметра для выполнения условия прочности.

Данные для этого графика представлены в табл. 1.

На рис. 6 изображен график зависимости частоты вращения n, мин$^{-1}$, от напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа [9].

Таблица 1

Зависимость частоты вращения от напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа

Частота вращения n, мин$^{-1}$	Угловая скорость ω, рад/с	Сила инерции $F_и$, Н	Напряжение среза $\tau_{ср}$, МПа	Напряжение смятия $\sigma_{см}$, МПа	Допускаемое напряжение среза для 6 винтов $[\tau_{ср}]'$, МПа	Допускаемое напряжение смятия для 6 винтов $[\sigma_{см}]'$, МПа
2000	209,4	2015,5	401,1	297,9	1620	2160
2500	261,8	3289,9	626,6	465,4		
3000	314,2	4737,4	902,4	670,2		
3500	366,5	6448,1	1228,2	912,2		
4000	418,9	8422,1	1604,2	1191,5		
4500	471,2	10659,2	2030,3	1508,0		
5000	523,6	13159,5	2506,6	1861,7		
5500	576,0	15923,0	3032,9	2252,6		
6000	628,3	18949,6	3609,5	2680,8		

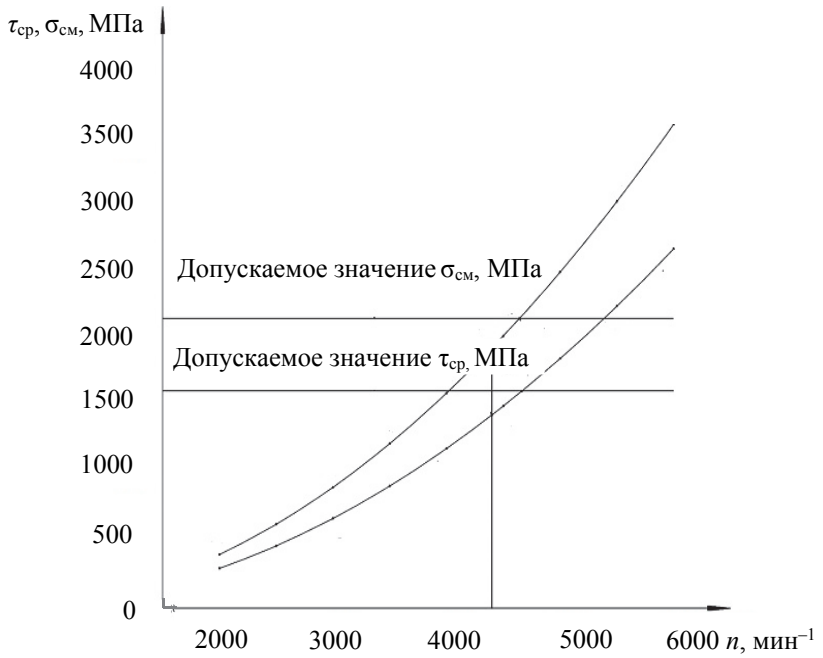


Рис. 6. График зависимости частоты вращения n, мин$^{-1}$ от напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа

Графики зависимости диаметра резьбы винта *d*, мм, и их количества от напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа, представлены на рис. 7 и 8, данные для этих графиков приведены в табл. 2.

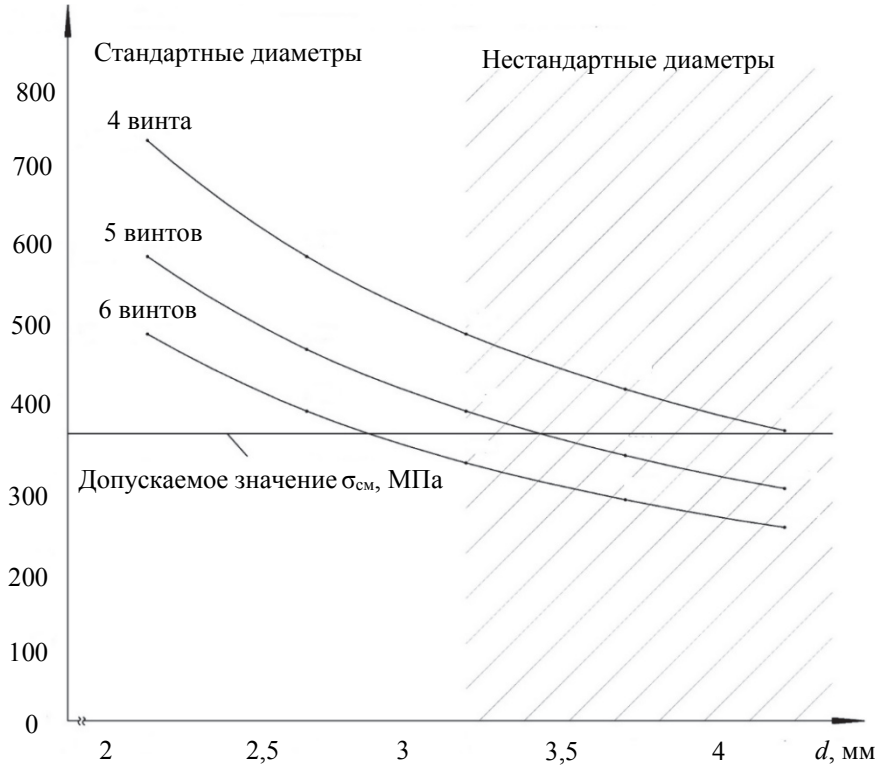


Рис. 7. График зависимости диаметра резьбы винта *d*, мм, и их количества от напряжения смятия $\sigma_{см}$, Мпа

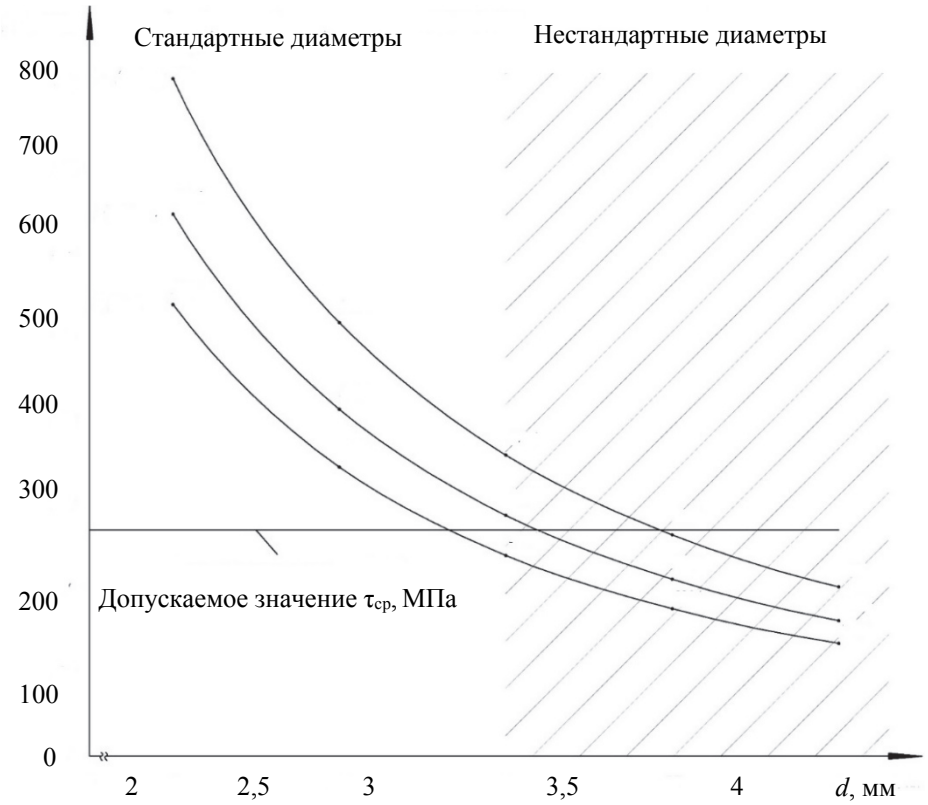


Рис. 8. График зависимости диаметра резьбы винта *d*, мм, и их количества от напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа

Таблица 2

Зависимость диаметра резьбы винта *d*, мм, и их количества от напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа

Диаметр резьбы винта *d*, мм	Напряжение среза на 1 винт $\tau_{ср}'$, МПа	Напряжение смятия на 1 винт $\sigma_{см}'$, МПа
1	2	3
4 винта		
2	810,0	727
2,5	518,4	581,7
3	360,0	484,7
3,5	264,5	415,5
4	205,5	363,5
5 винтов		
2	648,0	581,7
2,5	414,7	465,3
3	288,0	387,8
3,5	211,6	332,4
4	162,0	290,8
6 винтов		
2	540,0	484,7
2,5	345,6	387,8
3	240,0	323,1
3,5	176,3	277,0

Заключение. В работе рассмотрен вариант конструкция пилы дисковой сборной со съемными сегментами, позволяющая уменьшить время на замену инструмента.

Определено максимальное значение силы, приходящейся на крепежные элементы, достигаемой при вращении пилы на холостом ходу и равной силе инерции сегмента $F_и$ = 10 179 Н, а также максимальная скорость подачи при полной загрузке привода, которая составила V_s = = 14,08 м/мин.

По результатам расчета крепежных элементов на смятие и срез определено, что для крепления сегментов потребуются винты А2.М3-6gх3,5.109 (ГОСТ 17475) в количестве 6 шт.

Проведены исследования по определению зависимости напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа от частоты вращения *n*, мин$^{-1}$, а также зависимости напряжения среза $\tau_{ср}$, МПа, и смятия $\sigma_{см}$, МПа, от диаметра резьбы винта *d*, мм, и их количества. Максимально возможная допустимая частота вращения пилы составила *n* = 4664 мин$^{-1}$, а наилучшим вариантом крепежных элементов будет 6 винтов А2.М3-6gх3,5.109 (ГОСТ 17475).

Список литературы

1. Глебов И. Т. Резание древесины. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. 151 с.

2. Дисковая пила: пат. 7982 Респ. Беларусь, МПК B 23 D 47/00, B 23 D 61/02, C 23 C 14/32 / И. В. Мурашова, В. А. Хлебцевич, И. Л. Поболь, Ю. В. Соколов, А. Э. Паршуто // Нац центр интеллектуал. собственности. 2020. С. 5.

3. Круглая пила для древесины с эффектом самозаточки: пат. 2690879 Рос. Федерация, МПК B 27 B 33/08, B 23 D 61/02 / В. П. Ивановский, А. Д. Платонов, А. М. Волганкин, Р. А. Недиков; заявитель Воронежский гос. лесотехн. ун-т имени Г. Ф. Морозова. № 2018145389; заявл. 19.12.2018; опубл. 06.06.2019 // Регистр интеллектуал. промышл. собственности. 2020. С. 6.

4. Дисковая пила: пат. 1544558 СССР, МПК B 27 B 33/08, B 23 D 61/02, B 23 D 61/04 / Т. А. Носовский, В. И. Белошицкий, И. М. Пишник, С. В. Зубик; заявитель Львовский лесотехн. ин-т № 4390994; заявл. 20.01.1988; опубл. 23.02.1990 // Нац центр интеллектуал. собственности. 1990. С. 2.

5. Строй-подсказка / Особенности пилы Геллера. М.,2015. URL: https://stroy-podskazka.ru (дата обращения: 28.11.2020).

6. Завойских Г. И., Протас Г. И., Лой В. Н. Первичная переработка древесного сырья на лесозаготовительных предприятиях: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2010. 133 с.

7. ВВК-С / Многопильные станки. Минск, 2020. URL: https://vvks.by (дата обращения: 28.11.2020).

8. Детали из древесины и древесных материалов. Припуски на механическую обработку: ГОСТ 7307–2016. Введ. 01.10.2018. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2018. 20 с.

9. Гришкевич А. А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2012. 111 с.

10. Бурносов Н. В., Гриневич С. А. Проектирование и производство деревообрабатывающего оборудования. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2008. 143 с.

11. Винты с потайной головкой точности А и В. Конструкция и размеры: ГОСТ 17475–80. Введ. 01.01.1982. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2008. 10 с.

12. Детали машин / Расчет болтовых соединений. Уфа, 2020. URL: http://www.detalmach.ru (дата обращения: 28.11.2020).

References

1. Glebov I. T. *Rezaniye drevesiny* [Cutting wood]. Yekaterinburg, UGLTU Publ., 2001. 151 p.

2. *Diskovaya pila* [Circular saw]. Patent 7982 BY, no. u 20110634, 2012.

3. *Kruglaya pila dlya drevesiny s effektom samozatochki* [Round wood saw with self-sharpening effect]. Patent 2690879 RF, no. 2018145389, 2019.

4. *Diskovaya pila* [Disk saw]. Patent 1544558, No. 43990994, 1990.

5. *Stroy-podskazka. Osobennosti pily Gellera* [Stroy tip. Features of the Geller saw]. Moscow, 2015. Available at: https://stroy-podskazka.ru (accessed 28.11.2020).

6. Zavoyskikh G. I., Protas P. A., Loy V. N. *Pervichnaya pererabotka drevesnogo syr'ya na lesozagotovitel'nykh predpriyatiyakh* [Primary processing of wood raw materials at logging enterprises: studies]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 133 p.

7. ВВК-С *Mnogopilnyye stanki* [Multi-saw machines]. Minsk, 2020. Available at: https://vvks.by (accessed 28.11.2020).

8. GOST 7307-2016. *Detali iz drevesiny i drevesnykh materialov. Pripuski na mekhanicheskuyu obrabotku* [Parts made of wood and wood materials. Allowances for mechanical processing]. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizactsii Resp. Belarus' Publ., 2018. 20 p. (In Russian).

9. Grishkevich A. A. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravlenyie protsessami rezaniya* [Mechanical processing of wood and wood materials, control of cutting processes]. Minsk, BGTU Publ., 2012. 111 p.

10. Burnosov N. V. Grinevich S. A. *Proyektirovaniye i proizvodstvo derevoobrabatyvayushchego oborudovaniya* [Design and production of woodworking equipment]. Minsk, BGTU Publ., 2008. 143 p.

11. GOST 17475-80. *Vinty s potaynoy golovkoy tochnosti A i V. Konstruktsiya i razmery* [Countersunk head screws of precision A and B. Design and dimensions]. Minsk: Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Resp. Belarus' Publ., 2008. 10 p. (In Russian).

12. *Detali mashin. Raschet boltovykh soyedineniy* [Details of machines. Calculation of bolted connections]. Ufa, 2020. Available at: http://www.detalmach.ru (accessed 28.11.2020) (In Russian).

Информация об авторах

Гришкевич Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Гриневич Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gres410a@ya.ru

Алифировец Григорий Васильевич – инженер кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alifirovez@tut.by

Information about the authors

Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Grinevich Sergey Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gres410a@ya.ru

Alifirovets Grigoriy Vasil'yevich – engineer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alifirovez@tut.by

Поступила 23.03.2021

УДК 674.055:621.95.04

Т. А. Машорипова, А. А. Гришкевич
Белорусский государственный технологический университет

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ УГЛА РЕЗАНИЯ СВЕРЛИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ЕГО ЛЕЗВИЯ

Статья описывает теоретическое исследование влияния угла наклона лезвия к оси винтового сверла на угол резания. В данной работе установлена зависимость величины угла резания δ от угла наклона винтовой канавки ε. С увеличением угла наклона винтовой канавки угол резания уменьшается.

Конструкция сверла определяется его технологическим назначением: видом обрабатываемого материала, направлением сверления относительно волокон древесины или плоскостей древесной плиты (в пласть или кромку) и др. Это связано с образованием и отводом стружки, силовыми и температурными напряжениями, которые, в свою очередь, зависят от угла резания δ и угла наклона винтовой канавки ε.

Углы резания в данной работе рассматриваются в плоскости движения, в данном случае в плоскости, нормальной к режущей кромке, следовательно, в зависимости от угла наклона режущей кромки к оси сверла ε углы резания будут иметь различные значения, не совпадающие с контурными (за исключением случая для $\angle\varepsilon = 90^\circ$). Кроме того, вследствие расположения канавки соответствующего профиля по винтовой линии углы резания приобретают различные значения по длине режущей кромки.

Ключевые слова: конструкция, совершенствование, угол резания, сверление, сверло.

Для цитирования: Машорипова Т. А., Гришкевич А. А. Особенности трансформации угла резания сверлильного инструмента в зависимости от положения его лезвия // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 327–332.

T. A. Mashoripova, A. A. Grishkevich
Belarusian State Technological University

FEATURES OF TRANSFORMATION OF THE CUTTING ANGLE OF THE DRILLING TOOL DEPENDING ON THE POSITION OF ITS BLADE

The article describes a theoretical study of the influence of the angle of inclination of the blade to the axis of the screw drill on the cutting angle. In this paper, the dependence of the value of the cutting angle δ on the angle of inclination of the helical groove ε is established. As the angle of inclination of the screw groove increases, the cutting angle decreases.

The design of the drill is determined by its technological purpose: the type of material to be processed, the direction of drilling relative to the wood fibers or the planes of the wood plate (in the layer or edge), and more. This is due to the formation and removal of chips, force and temperature stresses, which, in turn, depend on the cutting angle δ and the angle of inclination of the helical groove ε.

The cutting angles, in this paper, are considered in the plane of motion, in this case in the plane normal to the cutting edge, therefore, depending on the angle of inclination of the cutting edge to the drill axis, the cutting angles will have different values that do not coincide with the contour ones (except for the case for $\angle\varepsilon = 90^\circ$). In addition, due to the location of the groove of the corresponding profile along the helix, the cutting angles acquire different values along the length of the cutting edge.

Key words: design, improvement, cutting angle, drilling, drill.

For citation: Mashoripova T. A., Grishkevich A. A. Features of transformation of the cutting angle of the drilling tool depending on the position of its blade. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 327–332 (In Russian).

Введение. Сверление – один из очень распространенных методов механической обработки древесных материалов с целью получения отверстий. Формы и конструкции современного инструмента для обработки отверстий достигли значительного развития в связи с многочисленными технологическими задачами различных направлений деревообрабатывающей промышленности. И все же наиболее широко применяются винтовые сверла. Они представляют собой довольно сложный режущий инструмент. Работает он в более тяжелых условиях по сравнению с фрезерным, пильным и токарным инструментами. Теоретические исследования

всегда являются приближенными и не учитывают всех факторов, которые влияют на искомую величину [1].

Как правило, экспериментальное решение инженерных задач сводится к нахождению закономерностей влияния входных переменных факторов процесса на выходные показатели. Полученные закономерности позволяют оценить воздействие входных переменных, что дает возможность в дальнейшем управлять технологическим процессом, делая его оптимальным.

Обработка древесины и древесных материалов методом сверления остается значимым технологическим процессом в столярно-строительном и мебельном производствах. Существуют различные методики проведения экспериментов по изучению свойств дереворежущего инструмента. Но большинство из них охватывает не более одного исследуемого варьируемого параметра, влияющего на интересующий нас показатель – качество обработанной поверхности [2].

Важными характеристиками сверлильного инструмента, влияющими на качество обработки, силы и мощность резания, являются угол наклона винтовой канавки ε, угол подъема винтовой канавки τ, диаметр сверла D и угол при вершине 2φ (рис. 1).

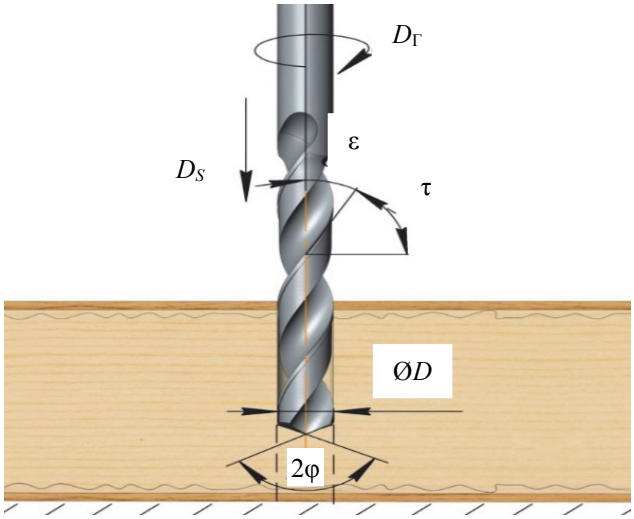


Рис. 1. Схема обработки сверлением

На процесс резания древесины и древесных материалов методом сверления оказывают влияние много факторов. Можно выделить три основные группы: 1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства материалов; 2) факторы, относящиеся к режущему инструменту (геометрические параметры сверла, углы резания и др.); 3) факторы, относящиеся к режимам эксплуатации инструмента, такие как скорость резания или обработки (скорость главного движения, скорость подачи) [3].

Таким образом цель исследования – изучение особенностей трансформации угла резания в зависимости от изменения положения лезвия сверлильного инструмента.

Задачи исследования:

1) определить конструкцию сверла, наиболее часто используемого в производстве;

2) установить значимый угол резания, влияющий на силовые характеристики процесса сверления.

Объект исследования – сверло. Предмет исследования – трансформация угла резания.

Основная часть. При сверлении древесных материалов наиболее распространенной конфигурацией режущей части сверла являются коническая заточка и форма с подрезателями и направляющим центром. При этом при второй форме сверло имеет четыре режущих элемента: две главные режущие кромки и два подрезателя. Гораздо реже применяют коническую заточку, когда сверло имеет две режущие кромки, наклоненные под углом φ к оси вращения. В данной работе мы будем рассматривать сверла с конической заточкой, так как у сверл с центром и подрезателями угол наклона витовой канавки, как правило, 90° [4–10].

Наибольшее влияние на усилие резания оказывают угловые параметры главной режущей кромки – угол резания δ и задний угол α. Направляющий центр, назначение которого повысить точность сверления, и подрезатели, улучшающие качество сверления, характеризуются в основном расстоянием над главной режущей кромкой. Изменение углов резания главной режущей кромки оказывает влияние только на силовые показатели процесса сверления, так как качество сверления зависит только от боковых режущих элементов сверла [3, 11, 12–15].

Как известно, углы резания связаны и зависят от плоскости движения и плоскости, нормальной к режущей кромке. В зависимости от угла наклона режущей кромки к оси сверла ε углы резания будут иметь различные значения. Они не будут совпадать с контурными, за исключением случая, когда $\angle\varepsilon = 90^\circ$. Кроме того, вследствие расположения канавки соответствующего профиля по винтовой линии углы резания приобретают различные значения по длине режущей кромки [13].

Известно, что углы наклона ε и подъема τ винтовой канавки зависят от шага последней и обусловливаются следующими соотношениями:

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{H}{2\pi R}; \qquad (1)$$

$$\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{2\pi R}{H}, \qquad (2)$$

где H – шаг винтовой канавки, мм; R – радиус сверления, мм; ε – угол наклона винтовой канавки, град.

Следовательно, при данном шаге винтовой канавки H, определяющем для периферийной точки режущей кромки значения углов ε и τ, значения углов в плоскости сечения, параллельной оси, для точек режущей кромки, близлежащих к оси сверла, будут иные – значение угла наклона ε будет уменьшаться, а углы подъема τ увеличиваться. Это имеет отношение и для значений углов резания.

Аналитическая зависимость углов резания и контурных углов винтовой канавки может быть определена графическим способом приведенным ниже.

На рис. 1 представлено спиральное сверло с конической заточкой, с углом подъема винтовой канавки τ и углом при вершине $\varphi = 2 \cdot \varepsilon$.

Для определения угла δ’ строим на режущей кромке ряд плоскостей, образующих параллелепипед, где K – плоскость, касательная к конической поверхности, описываемой режущей кромкой при вращении; S – плоскость, касательная к цилиндрической поверхности сверла; R – плоскость (осевая), проходящая через ось сверла и режущую кромку; H – плоскость, касательная к передней поверхности (по винтовой канавке) сверла в точке a; N – плоскость, перпендикулярная к режущей кромке в точке a.

Образованный данными плоскостями параллелепипед заключает в себя следующие углы: $\angle abc$, $\angle bcd$, $\angle bac$ в прямоугольных треугольниках $\triangle abc$, $\triangle abd$, $\triangle bcd$.

$$\angle bdc = -\frac{\varphi}{2} = \varepsilon, \tag{3}$$

где φ – угол при вершине, град; ε – половина угла при вершине, град. (Он равен ω).

$$\angle bad = \angle \tau, \tag{4}$$

где τ – угол подъема винтовой канавки, град.

$$\angle bac = \delta', \tag{5}$$

где δ' – угол резания, град.

Из прямоугольных треугольников $\triangle abc$, $\triangle abd$, $\triangle bcd$ находим зависимость между углами δ' и τ.

Из треугольника $\triangle abc$ следует, что

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{bc}{ab}. \tag{6}$$

Из треугольника $\triangle abd$ следует, что

$$ab = \frac{db}{\operatorname{tg}\tau}. \tag{7}$$

Из треугольника $\triangle bcd$ следует, что

$$bc = db \cdot \sin\varepsilon. \tag{8}$$

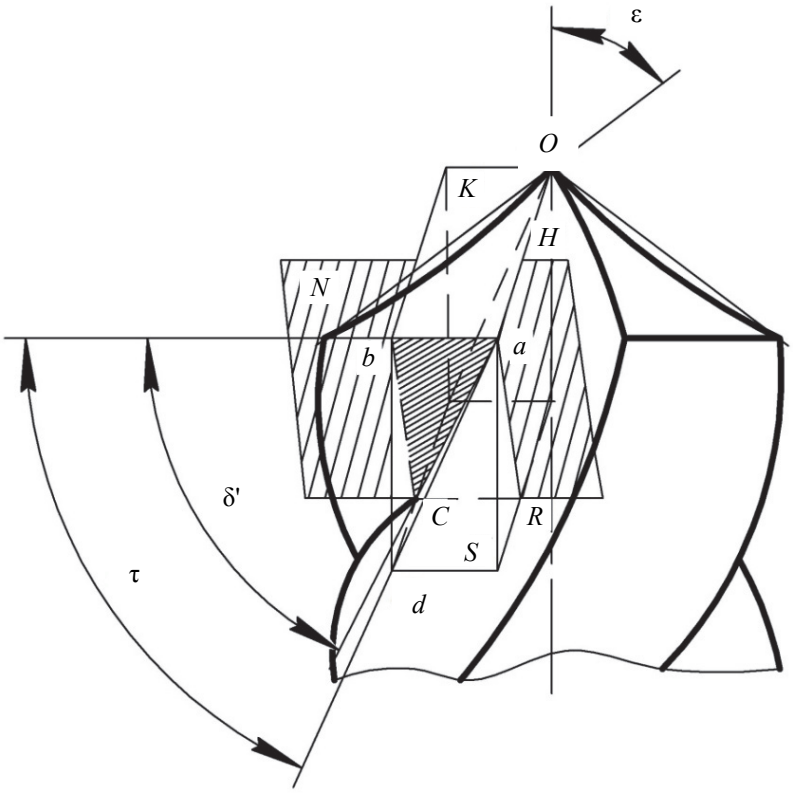


Рис. 1. Графическое изображение контурных и пространственных углов резания

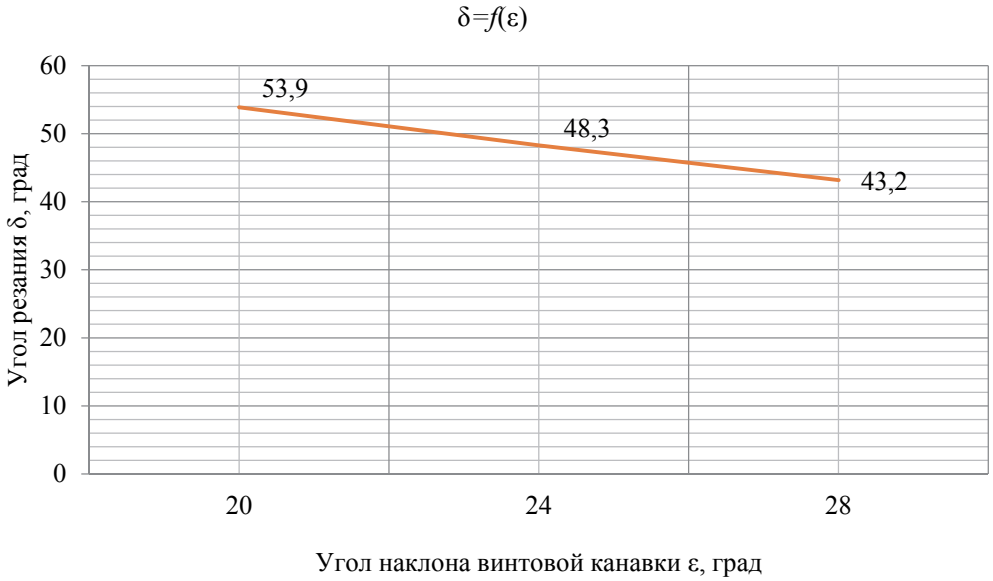


Рис. 2. График зависимости угла резания от угла наклона винтовой канавки ε

Из формул (3)–(8) получаются следующие зависимости:

$$\operatorname{tg}\delta' = \frac{db \cdot \sin\varepsilon}{db} \cdot \operatorname{tg}\tau;$$

$$\operatorname{tg}\delta' = \sin\varepsilon \cdot \operatorname{tg}\tau. \qquad (9)$$

На основе формул (1) и (2) можно сделать следующий вывод:

$$\operatorname{tg}\tau = (\operatorname{tg}\varepsilon)^{-1} = \operatorname{ctg}\varepsilon. \qquad (10)$$

Формула (9) примет вид

$$\operatorname{tg}\delta' = \sin\omega \cdot \operatorname{ctg}\varepsilon. \qquad (11)$$

Угол резания составит

$$\delta' = \operatorname{arctg}(\sin\varepsilon \cdot \operatorname{tg}\tau). \qquad (12)$$

Для сверл малого диаметра (в данной работе сверло D = 10 мм) угол наклона винтовой канавки составляет ε = 20–28°. Для построения графика возьмем три значения угла наклона винтовой канавки ε = 20°, ε = 24° и ε = 28°. Половина угла при вершине принята из конструкции сверла ω = 30° и величина постоянна.

$$\delta'_1 = \operatorname{arctg}(\sin 30 \cdot \operatorname{ctg} 20) = 53,9^\circ;$$

$$\delta'_2 = \operatorname{arctg}(\sin 30 \cdot \operatorname{ctg} 24) = 48,3^\circ;$$

$$\delta'_3 = \operatorname{arctg}(\sin 30 \cdot \operatorname{ctg} 28) = 43,2^\circ.$$

На основании этих данных построим график. На рис. 2 представлен график зависимости угла резания δ, град, от угла наклона винтовой канавки ε, град.

Из графика можно сделать следующий вывод: при увеличении угла наклона винтовой канавки ε, град, угол резания δ, град, уменьшается. Также с уменьшением угла резания уменьшаются крутящий момент $M_{ок}$, Н·м, и осевое усилие F_0, Н.

Заключение. В данной работе установлена зависимость угла резания δ от угла наклона режущей кромки лезвия инструмента. С увеличением угла наклона лезвия угол резания уменьшается.

С уменьшением угла резания уменьшаются крутящий момент $M_{ок}$, Н·м, и осевое усилие F_0, Н, вследствие чего улучшается качество получаемой поверхности при сверлении.

Таким образом, определена трансформация угла резания в зависимости от изменения угла наклона винтовой канавки. С незначительным изменением положения лезвия сверлильного инструмента статический угол резания уменьшается на 5 град. Особенностью трансформации угла резания сверлильного инструмента в зависимости от положения его лезвия является большое изменение угла δ, а именно с 20° до 24° изменение происходит почти на 11% (5,6 град), а с 24° до 28° более чем на 10% (5,1 град). Из этого следует, что при выборе конструкции сверла следует учитывать данный фактор при установлении технологических режимов и при выборе таких угловых параметров, как задний угол α и угол резания δ.

Список литературы

1. Глебов И. Т., Мартинон А. Сверление древесины: учеб.-справ. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 54 с.

2. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1966. 176 с.
3. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1966. 94 с.
4. Сверлильный инструмент. URL: https://www.leuco.com/RU/RU/Boring_Bits (дата обращения: 22.03.2021).
5. Сверла. URL: https://leitz.by/index.pl?act=SECTION&section=sverla (дата обращения: 22.03.2021).
6. Сверла. URL: https://faba78.ru/products/category/sverla (дата обращения: 22.03.2021).
7. Сверла для присадочных станков. URL: http://freud-catalog.ru/catalog/376/692/index.htm (дата обращения 22.03.2021).
8. Сверла для деревообработки. URL: https://www.stanki.by/catalog/svyerla_/ (дата обращения 22.03.2021).
9. Сверла спиральные дереворежущие. Технические условия: ГОСТ 22057–76. Введ. 01.01.1978. М.: Изд-во стандартов, 1978. 21 с.
10. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Технические условия: ГОСТ 10902–77*. Введ. 01.01.1979. М.: Изд-во стандартов, 1979. 23 с.
11. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие. М.: Лесная промсть, 1986. 296 с.
12. Аникеенко А. Ф., Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Влияние элементов режима сверления ламинированных древесностружечных плит на качество поверхности // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 391–394.
13. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты: учеб. пособие. М.: Лесная пром-сть, 1971. 344 с.
14. Глебов И. Т. Обработка древесины на станке с ЧПУ: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 142 с.
15. Морозов В. Г. Дереворежущий инструмент: справочник. М.: Лесная пром-сть, 1988. 344 с.

References

1. Glebov I. T., Martinon A. *Sverleniye drevesiny* [Drilling wood]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2016. 54 p.
2. Bershadski A. L. *Raschet rezhimov rezaniya drevesiny* [Computation of cutting wood]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1966. 176 p.
3. Tsukanov Yu. A., Amalitskiy V. V. *Obrabotka rezaniyem drevesnostruzhechnykh plit* [Chipboard cutting]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1966. 94 p.
4. *Sverlil’nyy instrument* [Drilling tools]. Available at: https://www.leuco.com/RU/RU/Boring_Bits (accessed 22.03.2021).
5. *Sverla* [Drills]. Available at: https://leitz.by/index.pl?act=SECTION&section=sverla (accessed 22.03.2021).
6. *Sverla* [Drills]. Available at: https://faba78.ru/products/category/sverla (accessed 22.03.2021).
7. *Sverla dlya prisadochnyh stankov* [Drill bits for filler machines]. Available at: http://freud-catalog.ru/catalog/376/692/index.htm (accessed 22.03.2021).
8. *Sverla dlya derevoobrabotki* [Drills for woodworking]. Available at: https://www.stanki.by/catalog/svyerla/ (accessed 22.03.2021).
9. GOST 22057–76. *Sverla spiral’nyye derevorezhushchiye. Tekhnicheskiye usloviya* [Wood-cutting spiral drills. Specifications]. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1978. 21 p. (In Russian).
10. GOST 10902–77*. *Sverla spiral’nyye s tsilindricheskim khvostovikom. Tekhnicheskiye usloviya* [Spiral drills with a cylindrical shank. Specifications]. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1977. 23 p. (In Russian).
11. Lyubchenko V. I. *Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting wood and wood material]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1986. 296 p.
12. Anikeenko A. F., Grishkevich A. A., Garanin V. N. The influence of the elements of the mode of drilling laminated chipboard on the surface quality. *Trudy BGTU* [Proseedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2 (198), pp. 391–394 (In Russian).
13. Grube A. E. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Woodworking tools]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1971. 344 p.
14. Glebov I. T. *Obrabotka drevesiny na stanke s CHPU* [Wood processing on a CNC machine]. Yekaterinburg, UGLTU Publ., 2018. 142 p.
15. Morozov V. G. *Derevorezhushchiy instrument: spravochnik* [Woodworking tools: Reference]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1988. 344 p.

Информация об авторах

Машорипова Татьяна Александровна – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: t.a.mashoripova@mail.ru

Гришкевич Александр Александрович − кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Information about the authors

Mashoripova Tatiana Aleksandrovna – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t.a.mashoripova@mail.ru

Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich − PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Поступила 23.03.2021

УДК 674.055:621.95

А. Ф. Аникеенко, Т. А. Машорипова
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ СВЕРЛИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ГЛУБИНУ СВЕРЛЕНИЯ ЛДсТП

В статье описывается новая конструкция сверлильного инструмента с применением упругих элементов для сверления сквозных отверстий в ламинированных древесностружечных плитах. Данная конструкция позволяет механическим путем изменять скорость подачи непосредственно во время обработки ламинированной древесностружечной плиты, тем самым предотвращая появление сколов на поверхности хрупкого слоя (ламината) плиты.

Конструкция предполагает применение пружин сжатия с разными коэффициентами жесткости в сверлильном инструменте. Во время внедрения сверла в твердую ламинированную часть плиты снижается скорость подачи за счет срабатывания пружин, на которые в это время подается нагрузка.

Достоинства конструкции: при уменьшении скорости подачи образование сколов на входе и выходе ламинированной плиты минимально. Изменение скорости подачи происходит не на программном уровне, что влечет за собой написание более простой программы обработки заготовки; простоту изготовления конструкции; малые габариты конструкции.

За счет сжатия упругих элементов происходит уменьшение скорости подачи и ограничивается углубление сверлильного инструмента в обрабатываемый материал. В связи с этим в данной работе был проведен расчет глубины просверливаемого отверстия в зависимости от жесткости упругих элементов.

Ключевые слова: конструкция, совершенствование, древесностружечная плита, сверление, сверло.

Для цитирования: Аникеенко А. Ф., Машорипова Т. А. Исследование влияния параметров упругих элементов новой конструкции сверлильного инструмента на глубину сверления Л-ДсТП // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 333–339.

A. F. Anikeenko, T. A. Mashoripova
Belarusian State Technological University

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS OF ELASTIC ELEMENTS OF A NEW DRILLING TOOL DESIGN ON THE DRILLING DEPTH OF LDsTP

The article describes a new design of a drilling tool with the use of elastic elements for drilling through holes in laminated chipboard. This design allows you to mechanically change the feed rate directly during the processing of laminated chipboard, thereby preventing the appearance of chips on the surface of the brittle layer (laminate) of the board.

The design involves the use of compression springs with different stiffness coefficients in the drilling tool. During the introduction of the drill into the solid laminated part of the plate, the feed rate decreases due to the actuation of the springs, which are loaded at this time.

Advantages of the design: with a decrease in the feed rate, the formation of chips at the inlet and outlet of the laminated board is minimal. The change in the feed rate does not occur at the program level, which entails writing a simpler program for processing the workpiece; simplicity of manufacturing the structure; small dimensions of the structure.

Due to the compression of the elastic elements, the feed rate is reduced and the deepening of the drilling tool into the processed material is limited. In this regard, in this work, the depth of the drilled hole was calculated depending on the stiffness of the elastic elements.

Key words: design, improvement, particle board, drilling, drill.

For citation: Anikeenko F. A., Mashoripova T. A. Investigation of the influence of parameters of elastic elements of a new drilling tool design on the drilling depth of LDsTP. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 333–339 (In Russian).

Введение. На процесс резания древесины и древесных материалов оказывает влияние много факторов, среди которых можно выделить три основные группы:

1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства ламинированной древесностружечной плиты);

2) факторы, относящиеся к режущему инструменту (геометрические параметры сверла, углы резания, марка стали и пр.);

3) режимы резания или обработки (скорость главного движения, скорость подачи) [1–6].

Важными характеристиками инструмента, влияющими на качество обработки, силы и мощность резания, являются угол наклона винтовой канавки ε, угол подъема винтовой канавки τ, диаметр сверла D и угол при вершине 2φ (рис. 1).

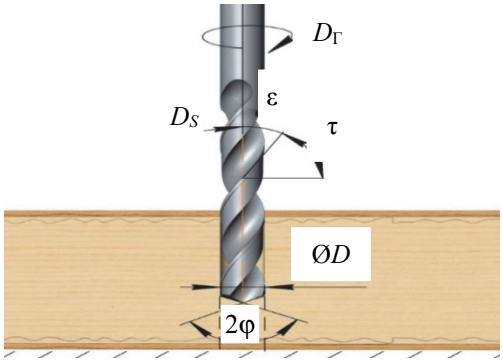


Рис. 1. Схема обработки сверлением

Цель исследования – изучить влияние параметров упругих элементов нового сверлильного инструмента на глубину сверления ламинированной древесностружечной плиты и на изменение скорости подачи. Задачи исследования:

1) составить методику расчета влияния жесткости упругих элементов на глубину сверления и изменение скорости подачи;

2) произвести расчеты для получения численных значений глубины сверления.

Объект исследования – сверло. Предмет исследования – глубина сверления.

Основная часть. Существуют различные методики проведения экспериментов по изучению свойств дереворежущего инструмента. Но большинство из них охватывает не более одного исследуемого варьируемого параметра, влияющего на интересующий нас показатель – качество обработанной поверхности.

При сверлении древесных материалов наиболее распространенной конфигурацией режущей части сверла являются коническая заточка и форма с подрезателями и направляющим центром. При этом при второй форме сверло имеет четыре режущих элемента: две главные режущие кромки и два подрезателя [7–9].

Существующие сверлильные инструменты для обработки древесины твердых и мягких пород, плитных материалов, имеют один существенный недостаток: предназначены для обработки только конкретного вида материала на определенных технологических режимах [10–15].

В связи с вышесказанным было спроектирован сверлильный инструмент, конструкция которого предполагает применение пружин сжатия с разными коэффициентами жесткости в сверлильном инструменте. Во время внедрения сверла в твердую ламинированную часть плиты снижается скорость подачи за счет срабатывания пружин, на которые в это время подается нагрузка.

На основании рассмотренных конструкций сверлильный инструмент с применением упругих элементов является наиболее оптимальным вариантом. Это достигается за счет простоты конструкции и меньших габаритов.

На рис. 2 представлена расчетная схема пружин.

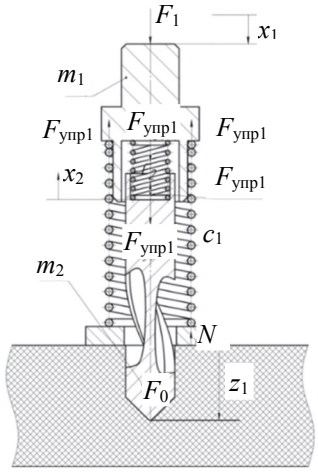


Рис. 2. Расчетная схема

Для решения составим следующие дифференциальные уравнения:

$$m_1\ddot{x}_1 = F - c_1x_2; \quad (1)$$

$$m_2\left(\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2\right) = c_1x_2 - F_{OC}, \quad (2)$$

где F – тяговое усилие, Н; c_1 – коэффициент жесткости внешней пружины, Н/м; x_1 – деформация внешней пружины, м; x_2 – деформация внутренней пружины, м; m_1 – масса оправы (m_1 = 0,275 кг); m_2 – масса сверла (m_2 = 0,05 кг).

Далее произведем расчет тягового усилия.

Общая формула тягового усилия

$$F > \sum F_C. \quad (3)$$

Или формула (4) будет имеет вид

$$F = \alpha\sum F_C, \quad (4)$$

где F_C – сумма сил сопротивления, Н; α – коэффициент запаса.

Исходя из расчетной схемы, сумма сил сопротивления будет равна

$$\sum F_C = F_S - F_{\text{упр1}} - F_{\text{упр2}}, \qquad (5)$$

где $F_{\text{упр1}}$ и $F_{\text{упр2}}$ – силы упругости внутренней и внешней пружины соответственно.

Расчетная схема представлена на рис. 3.

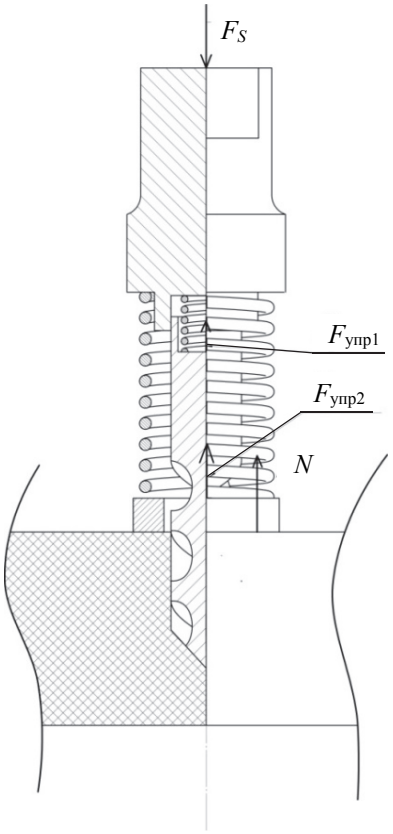


Рис. 3. Расчетная схема тягового усилия

Коэффициент запаса α = 1,3–1,5. В расчетах принимаем α = 1,4.

$$F = 1,4 \cdot 50,76 = 71,06 \text{ Н}.$$

Коэффициент жесткости пружин

$$c_1 = \frac{G \cdot d_D^4}{8 \cdot d_F^3 \cdot n}, \qquad (6)$$

где G – модуль сдвига, ГПа; d_D – диаметр проволоки, м; d_F – диаметр завивки, м; n – число витков.

Модуль сдвига G = 82 ГПа для стали 60С2А. Диаметр проволоки d_D = 0,003 м, диаметр завивки d_F = 0,022 м, Число витков n = 10.

$$c_1 = \frac{82 \cdot 10^9 \cdot 0,003^4}{8 \cdot 0,022^3 \cdot 10} = 7797,1 \text{ Н/м}.$$

Выразим из (1) $\ddot{x}_1$ и подставим в (2):

$$m_2\left(\frac{F - c_1 x_2}{m_1} - \ddot{x}_2\right) = c_1 x_2 - F_0. \qquad (7)$$

Преобразуем выражение (7), поделив правую и левую части на m_2:

$$\ddot{x}_2 + c_1 x_2 \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} = \frac{F_0}{m_2} + \frac{F}{m_1}. \qquad (8)$$

Для удобства записи произведем замену:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}; \; K = \frac{F_0}{m_2} + \frac{F}{m_1}.$$

Масса оправы равна m_1 = 0,275 кг, масса сверла m_2 = 0,05 кг. Осевая сила F_0 = 159,07 Н, тяговое усилие составляет F = 71,06 Н.

$$\mu = \frac{0,275 \cdot 0,05}{0,275 + 0,05} = 0,042,$$

$$K = \frac{159,07}{0,05} + \frac{71,06}{0,275} = 3484.$$

Тогда выражение (8) примет вид

$$\ddot{x}_2 + \frac{c_1}{\mu} x_2 = K. \qquad (9)$$

Решением данного уравнения будет являться выражение

$$x_2 = A \cdot \cos\theta k_2 t + B \cdot \sin k_2 t + \frac{K}{c_1}\mu, \qquad (10)$$

где k_2 – частота колебаний, с$^{-1}$.

Частоту колебаний найдем из формулы

$$k_2 = \sqrt{\frac{c_1}{\mu}}. \qquad (11)$$

Коэффициент жесткости внешней пружины c_1 = 7797,1 Н/м, μ = 0,042

$$k_2 = \sqrt{\frac{7797,1}{0,042}} = 430 \text{ с}^{-1}.$$

Для определения константы A продифференцируем выражение (10):

$$\dot{x}_2 = -Ak_2 \sin k_2 t + Bk_2 \cos k_2 t. \qquad (12)$$

Начальные условия: $\dot{x}_2 = 0$; $x_2 = 0$; t = 0.

Тогда из (10) и (11) следует, что

$$A = -\frac{K}{c_1}\mu \text{ ; } B = 0.$$

Таким образом, с учетом найденных констант, выражение (9) примет вид

$$x_2 = \frac{K}{c_1}\mu\left(1 - \cos k_2 t\right). \qquad (13)$$

Подставив выражение (13) в (2), получим

$$m_1\ddot{x}_1 = F - K\mu(1-\cos k_2 t). \quad (14)$$

Разделим правую и левую части на m_1:

$$\ddot{x}_1 = \frac{F-K\mu}{m_1} + \frac{K\mu}{m_1}\cos k_2 t. \quad (15)$$

Для определения $\dot{x}_1$ проинтегрируем выражение (15):

$$\dot{x}_1 = \int_0^t \frac{F-K\mu}{m_1}dt + \int_0^t \frac{K\mu}{m_1}\cos k_2 t dt.$$

Получим

$$\dot{x}_1 = \frac{F-K\mu}{m_1}t + \frac{K\mu}{m_1 k_2}\sin k_2 t + C_1. \quad (16)$$

Чтобы найти x_1, проинтегрируем выражение (16):

$$x_1 = \int_0^t \frac{F-K\mu}{m_1}t dt + \int_0^t \frac{K\mu}{m_1 k_2}\sin k_2 t dt + \int_0^t C_1 dt. \quad (17)$$

Получим

$$x_1 = \frac{F-K\mu}{m_1}t^2 - \frac{K\mu}{m_1 k_2^2}\cos k_2 t + C_1 t + C_2, \quad (18)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Для определения постоянных интегрирования зададимся начальными условиями: $\dot{x}_1 = V_s$, так как в начальный момент времени тело m_1 двигалось со скоростью V_s; $x_1 = 0$; $t = 0$.

Таким образом, подставив начальные условия в выражения (16) и (18), получим

$$C_1 = V_s;\ C_2 = -\frac{K\mu}{m_1 k_2^2}.$$

Деформация внешней пружины

$$x_1 = \frac{F-K\mu}{m_1}t^2 + V_s t + \frac{K\mu}{m_1 k_2^2}(1-\cos k_2 t). \quad (19)$$

Шаг витка пружины $t = 0{,}007$ м, скорость подачи $V_s = 5$ м/мин, частота колебаний $k_2 = 430$ с$^{-1}$, масса оправы $m_2 = 0{,}275$ кг.

$$x_1 = \frac{71 - 3484\cdot 0{,}042}{0{,}275}0{,}007^2 + 5\cdot 0{,}007 + \frac{3484\cdot 0{,}042}{0{,}275\cdot 430^2}(1-\cos 430\cdot 0{,}007) = 0{,}027\text{ м}.$$

Тогда углубление сверла z_2 найдем из выражения

$$z_2 = x_1 - x_2. \quad (20)$$

Подставив (13) и (17) в (20), получим

$$z_2 = \frac{F-K\mu}{m_1}t^2 + V_s t + \frac{K\mu}{m_1 k_2^2}(1-\cos k_2 t) - \frac{K}{c_1}\mu(1-\cos k_2 t). \quad (21)$$

Преобразовав выражение (21) с учетом (11), получим

$$z_2 = \frac{F-K\mu}{m_1}t^2 + V_s t + (1-\cos k_2 t)\left(\frac{K\mu^2}{m_1 c_1} - \frac{K\mu}{c_1}\right). \quad (22)$$

Подставив численные значения в формулу (22), получим углубление сверла:

$$z_2 = \frac{70 - 3483\cdot 0{,}042}{0{,}275}\cdot 0{,}0157^2 + 5\cdot 0{,}0157 + (1-\cos 283\cdot 0{,}0157)\times \left(\frac{3484\cdot 0{,}042^2}{0{,}275\cdot 3365} - \frac{3484\cdot 0{,}042}{3365}\right) = 0{,}011\text{ м}.$$

Однако выражение (22) довольно сложно оптимизировать, поэтому расчет будем вести с той позиции, что сила F является постоянной. Тогда $x_1 = V_s t$ $\dot{x}_1 = V_s$, $\ddot{x}_1 = 0$; $t = 0$.

$$m_2(\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) = c_2 x_2 - F; \quad (23)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + c_2 x_2 = F, \quad (24)$$

где c_2 – коэффициент жесткости внутренней пружины, Н/м.

$$c_2 = \frac{G\cdot d_D^4}{8\cdot d_F^3\cdot n}. \quad (25)$$

Модуль сдвига $G = 82$ ГПа для стали 60С2А. Диаметр проволоки $d_D = 0{,}0006$ м, диаметр завивки $d_F = 0{,}0054$ м, Число витков $n = 12$.

$$c_2 = \frac{82\cdot 10^9\cdot 0{,}0006^4}{8\cdot 0{,}0054^3\cdot 12} = 703{,}01\text{ Н/м}.$$

Произведем замену

$$k_{20}^2 = \frac{c_2}{m_2}. \quad (26)$$

Коэффициент жесткости внутренней пружины $c_2 = 703$ Н/м, масса сверла $m_2 = 0{,}05$ кг.

$$k_{20}^2 = \frac{703{,}1}{0{,}05} = 14060{,}2\text{ с}^{-1}.$$

Также представим F как

$$F = \frac{F_0}{h}(V_s t - x_2), \quad (27)$$

где h – биссектриса угла заточки сверла, м.

Разделим правую и левую части на m_2 и с учетом (26) и (27) получим

$$\ddot{x}_2 + k_{20}^2 x_2 = \frac{F_0}{m_2 h}\left(V_s t - x_2\right). \quad (28)$$

Для облегчения расчетов произведем замену:

$$k_2^2 = k_{20}^2 + \frac{F_0}{m_2 h}. \quad (29)$$

Осевая сила F_0 = 159,07 Н, биссектриса угла заточки h = 5 мм.

$$k_2^2 = 14060,2 + \frac{159,07}{0,05 \cdot 0,005} = 652860,2\ \text{с}^{-1};$$

$$k_2 = \sqrt{652860,2} = 808\ \text{с}^{-1}.$$

Тогда выражение (28) примет вид

$$\ddot{x}_2 + k_2^2 x_2 = \frac{F_0 V_s}{m_2 h} t. \quad (30)$$

Решением выражения (30) будет являться

$$x_2 = B \sin k_2 t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t. \quad (31)$$

Для определения констант A и B продифференцируем выражение (31).

$$\dot{x}_2 = B k_2 \cos k_2 t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2}. \quad (32)$$

Начальные условия: $\dot{x}_2 = 0$; $x_2 = 0$; t = 0, тогда

$$B = -\frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3}.$$

Выражение (32) примет вид

$$x_2 = \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t - \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3} \sin k_2 t; \quad (33)$$

$$x_2 = 0,0036\ \text{м}.$$

Углубления сверла найдем по формуле (5) с учетом (18) и условий работы системы. Получим

$$z_2 = V_s t - \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3} \sin k_2 t. \quad (34)$$

Произведем замену

$$\frac{F_0}{m_2 h} = k_2^2 - k_{20}^2. \quad (35)$$

Тогда

$$z_2 = \frac{k_{20}^2}{k_2^2} V_s t + \left(1 - \frac{k_{20}^2}{k_2^2}\right) \frac{V_s}{k_2} \sin k_2 t. \quad (36)$$

Продифференцировав выражение (36) с учетом (32) получим

$$z_2 = \frac{k_{20}^2}{k_2^2} V_s t + \frac{V_s}{k_2} \sin k_2 t; \quad (37)$$

$$z_2 = \frac{14060,2}{652860,2} \cdot 5 \cdot 0,002 + \frac{5}{808} \sin(808 \cdot 0,002) = 0,0064\ \text{м}.$$

Как видно из выражения (37), при углублении сверла на z_2 скорость будет уменьшаться. Однако для точного расчета необходимы более детальные исследования.

Заключение. Согласно полученным данным, глубина сверления будет относительно малой при использовании пружин с коэффициентами жесткости внешней c_1 = 7797,1 Н/м и внутренней c_2 = 703 Н/м пружин. Соответственно, необходимо в дальнейшем исследовать другие упругие элементы для применения их в проектируемом сверлильном инструменте.

Использование данного типа инструмента при сверлении плитных материалов позволит в значительной мере сократить количество брака, увеличить производительность вместе со снижением энергопотребления за счет того, что при помощи упругих элементов будет независимо изменяться скорость подачи инструмента. Предполагаемая стоимость изготовления подобного сверла при серийном производстве значительно меньше затрат на устранение брака или модернизацию используемого оборудования.

Список литературы

1. Волынский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учеб.-справ. пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2010. 336 с.

2. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1966. 176 с.

3. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1966. 94 с.

4. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие. М.: Лесная промсть, 1986. 296 с.

5. Аникеенко А. Ф., Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Влияние элементов режима сверления ламинированных древесностружечных плит на качество поверхности // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2017. № 2 (198). С. 391–394.

6. Пружины сжатия. Конструкция и размеры: ГОСТ 18793-80. Введ. 17.12.1992. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1992. 88 с.

7. Сверлильный инструмент. URL: https://www.leuco.com/RU/RU/Boring_Bits (дата обращения: 22.03.2021).

8. Сверла. URL: https://leitz.by/index.pl?act=SECTION&section=sverla (дата обращения: 22.03.2021).

9. Сверла. URL: https://faba78.ru/products/category/sverla (дата обращения: 22.03.2021).

10. Сверла для присадочных станков. URL: http://freud-catalog.ru/catalog/376/692/index.htm (дата обращения 22.03.2021).

11. Сверла для деревообработки. URL: https://www.stanki.by/catalog/svyerla/ (дата обращения 22.03.2021).

12. Сверла спиральные дереворежущие. Технические условия: ГОСТ 22057–76. Введ. 01.01.1978. М.: Изд-во стандартов, 1978. 21 с

13. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Технические условия: ГОСТ 10902–77*. Введ. 01.01.1979. М.: Изд-во стандартов, 1979. 23 с

14. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты: учеб. пособие. М.: Лесная пром-сть, 1971. 344 с.

15. Глебов И. Т. Обработка древесины на станке с ЧПУ: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 142 с.

References

1. Volynskiy V. N. *Tekhnologiya drevesnykh plit i kompozitnykh materialov* [Board technology and composite materials]. St. Petersburg, Lan’ Publ., 2010. 336 p.

2. Bershadski A. L. *Raschet rezhimov rezaniya drevesiny* [Computation of cutting wood]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1966. 176 p.

3. Tsukanov Yu. A., Amalihskiy V. V. *Obrabotka rezaniyem drevesnostruzhechnykh plit* [Chipboard cutting]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1966. 94 p.

4. Lyubchenko V. I. *Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting wood and wood material]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1986. 296 p.

5. Anikeenko A. F., Grishkevich A. A., Garanin V. N. The influence of the elements of the mode of drilling laminated chipboard on the surface quality. *Trudy BGTU* [Proseedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2 (198), pp. 391–394 (In Russian).

6. GOST 18793-80. *Pruzhiny szhatiya. Konstruktsiya i razmery* [Compression springs. Design and dimensions]. Minsk, Standartinform Publ., 1992. 88 p. (In Russian).

7. *Sverlil’nyy instrument* [Drilling tools]. Available at: https://www.leuco.com/RU/RU/Boring_Bits (accessed 22.03.2021).

8. *Sverla* [Drills]. Available at: https://leitz.by/index.pl?act=SECTION&section=sverla (accessed 22.03.2021).

9. *Sverla* [Drills]. Available at: https://faba78.ru/products/category/sverla (accessed 22.03.2021).

10. *Sverla dlya prisadochnykh stankov* [Drill bits for filler machines]. Available at: http://freud-catalog.ru/catalog/376/692/index.htm (accessed 22.03.2021).

11. *Sverla dlya derevoobrabotki* [Drills for woodworking]. Available at: https://www.stanki.by/catalog/svyerla/ (accessed 22.03.2021).

12. GOST 22057–76. *Sverla spiral’nyye derevorezhushchiye. Tekhnicheskiye usloviya* [Wood-cutting spiral drills. Specifications]. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1978. 21 p. (In Russian).

13. GOST 10902–77*. *Sverla spiral’nyye s tsilindricheskim khvostovikom. Tekhnicheskiye usloviya* [Spiral drills with a cylindrical shank. Specifications]. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1977. 23 p. (In Russian).

14. Grube A. E. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Woodworking tools]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1971. 344 p.

15. Glebov I. T. *Obrabotka drevesiny na stanke s CHPU* [Wood processing on a CNC machine]. Yekaterinburg, UGLTU Publ., 2018. 142 p.

Информация об авторах

Аникеенко Андрей Федорович − кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Машорипова Татьяна Александровна – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: t.a.mashoripova@mail.ru

Information about the authors

Anikeenko Andrey Fedorovich − PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Mashoripova Tatiana Aleksandrovna – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t.a.mashoripova@mail.ru

Поступила 23.03.2021

УДК 674.914:674.338

И. К. Клепацкий, В. В. Раповец
Белорусский государственный технологический университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЯ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ НОЖЕЙ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩЕЙ МАШИНЫ

Выполнен анализ работ по методам математического прогнозирования. По результатам реализованных экспериментальных исследований на базе ОАО «Борисовский ДОК» по изучению стойкости дереворежущего инструмента из легированной стали 6ХС, используемого на малоножевых фрезах фрезерно-брусующего станка LINK VS22, получен массив данных округления режущей кромки от объема переработанной древесины породы сосны обыкновенной.

Непосредственное изучение физических параметров исследуемой модели (например, радиус округления режущей кромки дереворежущего инструмента) не может дать значимого описания для большинства выходных данных (динамика стойкости режущей кромки, качество получаемых пиломатериалов и т. п.) при выполнении производственного (полевого) эксперимента. Тем не менее они могут служить эмпирическими моделями. Допустимая к использованию эмпирическая модель должна в достаточной степени описывать наблюдаемые параметры, а также подходить для прогнозирования выходных параметров.

В представленной статье рассмотрена возможность описания методом наименьших квадратов прогноза потери режущей способности лезвия ножей при фрезеровании малоножевыми торцово-коническими фрезами.

Ключевые слова: математическая модель, нож, агрегатная обработка, стойкость, прогноз, фрезерно-брусующий станок.

Для цитирования: Клепацкий И. К., Раповец В. В. Математическая модель прогноза изменения радиуса округления режущей кромки ножей фрезерно-брусующей машины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 340–344.

I. K. Klepatski, V. V. Rapovets
Belarusian State Technological University

MATHEMATICAL MODEL FORECAST CHANGE ROUNDING RADIUS CUTTING EDGE KNIFE OF CHIPPER-CANTER MACHINES

The analysis of works on the methods of mathematical forecasting is carried out. Based on the results of experimental studies carried out on the basis of JSC Borisovskiy DOK to study the durability of wood-cutting tools made of alloy steel 6CrC used on small-blade cutters of a canter-milling machine LINK VS22, a set of data was obtained for the cutting edge rounding from the volume of processed Scotch pine wood.

A direct study of the physical parameters of the model under study (for example, the radius of rounding of the cutting edge of a wood-cutting tool) cannot give a meaningful description for most of the output data (dynamics of the cutting edge durability, the quality of the lumber obtained, etc.) when performing a production (field) experiment. Nevertheless, they can serve as empirical models. A valid empirical model should adequately describe the observed parameters, and also be suitable for predicting the output parameters.

In the presented article, the possibility of describing by the least squares method the forecast of the loss of the cutting ability of the knife blade when milling with small-knife end-conical milling cutters is considered.

Key words: mathematical model, knife, aggregate processing, durability, forecast, chipper canter.

For citation: Klepatski I. K., Rapovets V. V. Mathematical model forecast change rounding radius cutting edge knife of chipper-canter machines. *Proceedings BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 340–344 (In Russian).

Введение. При поиске решений вопросов анализа и синтеза действительных физических процессов с использованием математических методов появляется необходимость создания модели в соответствии с исследуемым объектом [1, 2]. Первоочередной задачей стоит определение типа

исследуемого объекта, далее – анализ неизвестных параметров и выбор подходящей математической модели для поиска решения [3–7].

Широкое распространение метода наименьших квадратов (МНК) при обработке результатов научных экспериментов [2–5] получило благодаря различным подходам к исходным наборам известных и неизвестных величин и обработке измерений с извлечением информации о точности измерений.

Математическое моделирование технических и технологических систем уже давно является универсальным инструментом, который позволяет решать задачи оптимального выбора сырья, материалов, оборудования, проводить многовариантный анализ, отрабатывать технологические режимы, определять оптимальную стратегию ведения технологических процессов. Необходимость решения указанных задач постоянно возрастает. Это складывается из того, что при больших масштабах производства даже незначительная модернизация в любой из этих областей может дать ощутимый экономический эффект. В то же время материальный урон от неоптимального решения задачи может быть значительным [8–10].

Проведены прямые измерения [11] радиусов округления режущей кромки ножей для агрегатной обработки древесины сосны малоножевым фрезерным инструментом в определенные моменты времени их работы. По результатам измерений получен массив данных для расчета математической модели технологической стойкости режущей кромки по МНК [12, 13].

Целью данной статьи является демонстрация МНК для прогнозирования заданных параметров для выбранного варианта физического эксперимента.

Основная часть. Сущность МНК состоит в минимизации суммы квадратических отклонений между наблюдаемыми и расчетными величинами. Расчетные величины находятся по подобранному уравнению – уравнению регрессии. Теоретический анализ сущности изучаемого явления, изменение которого отображается временным рядом, служит основой для выбора кривой [7].

Полиномная функция, согласно МНК, будет иметь вид

$$y = \sum_{i=0}^{k} \left(b_i \cdot x^i \right),$$

где y – объем переработанной древесины, м^3; b_i – коэффициенты данного полинома, $i = 0$; k, b_0 – свободные члены; x – радиус округления режущей кромки ножа, мкм.

Схожим образом с линейной регрессией МНК сводит к минимуму следующий ряд S суммы отклонений:

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(\hat{y}_i - y_i \right) \to \min,$$

где $\hat{y}_i$ – гипотетические значения, являющиеся значениями полинома x_i. Следовательно,

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{i=0}^{k} b_i \cdot x^i - y_i \right)^2 \to \min.$$

Выполняя обязательное условие экстремума функции $(k + 1)$ переменных $S = S(b_0, b_1, \ldots, b_k)$, приравниваем к нулю ее частные производные:

$$S'_{b_p} = 2 \sum_{i=1}^{n} x_i^p \left(\sum_{i=0}^{k} b_i \cdot x^i - y_i \right) = 0,$$

$$p = \overline{0, k}.$$

Обе части уравнения поделим на два и представим в развернутом виде сумму второй части уравнения:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i^p \left(b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + \ldots + b_k x_i^k \right) -$$

$$- \sum x_i^p \cdot y_i = 0,$$

$$p = \overline{0, k}.$$

После раскрытия скобок сделаем перенос в каждом p-м выражении последнего слагаемого в вправо и поделим обе части на n. В итоге получилось $(k + 1)$ выражений, образующих систему линейных нормальных уравнений относительно b_p. Эта система может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{cases} b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \ldots + b_k x^k = \overline{y}, \\ b_0 \overline{x} + b_1 \overline{x^2} + b_2 \overline{x^3} + \ldots + b_k \overline{x^{k+1}} = \overline{xy}, \\ b_0 \overline{x^2} + b_1 \overline{x^3} + b_2 \overline{x^4} + \ldots + b_k \overline{x^{k+2}} = \overline{x^2 y}, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ b_0 \overline{x^k} + b_1 \overline{x^{k+1}} + b_2 \overline{x^{k+2}} + \ldots + b_k \overline{x^{2k}} = \overline{x^{2k} y}. \end{cases}$$

Перезапишем предыдущее выражение в матричном виде:

$$AB = C,$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \overline{x} & \overline{x^2} & \overline{x^3} & \overline{x^k} \\ \overline{x} & \overline{x^2} & \overline{x^3} & \cdots & \overline{x^{k+1}} \\ \overline{x^2} & \overline{x^3} & \overline{x^4} & \cdots & \overline{x^{k+2}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x^k} & \overline{x^{k+1}} & \overline{x^{k+2}} & \cdots & \overline{x^{2k}} \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_k \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} \overline{y} \\ \overline{xy} \\ \overline{x^2 y} \\ \vdots \\ \overline{x^k y} \end{pmatrix}.$$

Для построения аппроксимационной зависимости с среде *MS Excel* была выбрана точка *x* (ρ1) лезвия ножа на расстоянии $l = 1$ мм от края режущей кромки, в которой измерялся радиус округления режущей кромки ножа (рис. 1) [11].

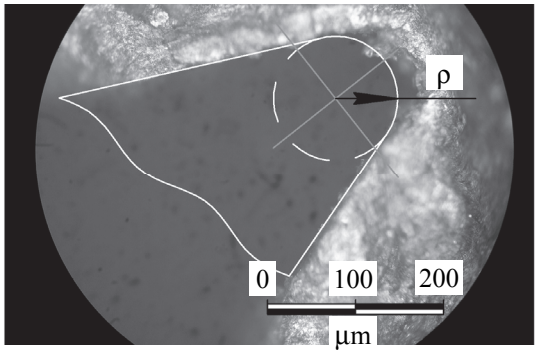


Рис. 1. Снимок слепка кромки ножа

Данные этой точки при потере им режущей способности в зависимости от количества объема переработанной древесины V_i, м^3, собранные по истечении пяти рабочих смен t_i, ч ($\sum t_i = 40$ ч), от момента переточки ножа на производстве, представлены в таблице.

Изменения радиуса округления точки на кромке ножа фрезерно-брусующей машины

t_i, ч	0	8	16	24	32	40
V_i, м^3	–	1971	1975	1980	2446	1456
ρ_1, мкм	8	46	75	90	115	160

В качестве сравнительного параметра *y* выбрана суммарная длина контакта точки ножа с древесиной – путь резания [14–16], пройденный этой точкой ножа $\sum l_к$, м:

$$\sum l_k = \sqrt{\frac{h_{бр}}{D}} \cdot \sum l_{бр},$$

где $h_{бр}$ – высота бруса, мм; D – диаметр резания, мм; $\sum l_{бр}$ – суммарная длина обработанного материала (бревна), м.

На рис. 2 представлены данные зависимости изменения радиуса округления режущей кромки от пройденного суммарного пути резания точки ножа в древесине. По результатам построения графика можно увидеть, что аппроксимационная зависимость носит полиномный, близкий к линейному характер.

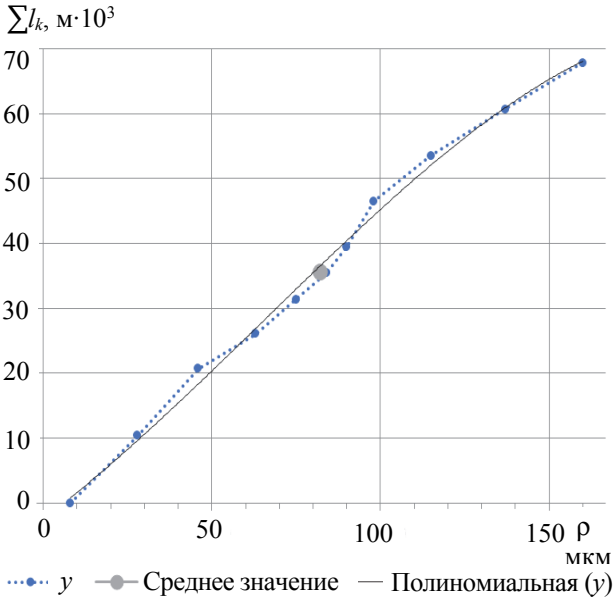


Рис. 2. Аппроксимационная зависимость радиуса округления на выбранной точке режущей кромки ножа от суммарного пройденного пути резания

Заключение. При выполнении опытно-промышленных экспериментов были установлены величины радиусов округления режущей кромки ножей для агрегатной обработки древесины сосны малоножевым фезерным инструментом [8] и получен массив данных для расчета математической модели технологической стойкости режущей кромки по МНК. В результате по расчетам МНК была получена регрессионная полиномная зависимость:

$$y = -0{,}0093x^3 + 1{,}8095x^2 + \\ + 388{,}0548x - 2415{,}5903.$$

Эта зависимость позволяет определить теоретический радиус округления на режущей кромке ножа фрезерно-брусующей машины в определенной точке в зависимости от пройденного им пути резания. Предлагаемый метод, благодаря простоте и быстродействию вычислений, удобен для расчетов косвенных параметров при проведении натурных экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Коугия В. А. Избранные труды. Исследования по теории математической обработки результатов измерений: монография. СПб.: ПГУПС, 2012. 447 с.

2. Várhegyi G., Wang L., Skreiberg Ø. Non-isothermal kinetics: best-fitting empirical models instead of model-free methods // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2020. Vol. 142. P. 1043–1054.

3. Frollo I., Andris P., Strolka I., Baciak L. A Least Square Method for Measurement and Optimisation in Selected Physical Experiments // Key Engineering Materials. 2005. P. 295–296.

4. Yeniay Ö., İşçi, Ö., Göktaş A., Çankaya M. Time Scale in Least Square Method. URL: https://www.hindawi.com/journals/aaa/2014/354237/ (дата обращения: 20.01.2020).

5. Колеснев А. С. Сглаживание экспериментальных зависимостей по методу наименьших квадратов // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5–2. 193–195 с.

6. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. М.: Юнити-Дана, 2001. Т. 2. 432 с.

7. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит, 1962. 354 с.

8. Yong Chen, Elvin T. Choong, David M. Wetzel. Optimum Average Diffusion Coefficient: An Objective Index in Description of Wood Drying Data // Wood and Fiber Science. 1994. No. 3. P. 412–420.

9. Perry N. Peralta, Audimar P. Bangi. A nonlinear regression technique for calculating the average diffusion coefficient of wood during drying // Wood and Fiber Science. 2003. No. 3. P. 401–408.

10. Мазаник Н. В. Моделирование и оптимизация процессов в деревообработке. Методы построения, анализа и визуализации математических моделей. Минск: БГТУ, 2014. 161 с.

11. Клепацкий И. К., Раповец В. В. Динамика потери режущей способности лезвий малоножевых фрез при агрегатной переработке древесины // Труды БГТУ. Сер. 2, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов и деревообрабатывающая промышленность. 2019. № 2. С. 298–303.

12. Митин И. В., Русаков В. С. Анализ и обработка экспериментальных данных. М.: Физ. фак. МГУ, 2004. 44 с.

13. Пижурин А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. М.: МГЛУ, 2004. 375 с.

14. Раповец В. В., Гриневич С. А., Бурносов Н. В. Конструкция и расчеты фрезерно-брусующих станков. Минск: БГТУ, 2015. 82 с.

15. Боровиков Е. М., Фефилов В. В., Шестаков Л. А. Лесопиление на агрегатном оборудовании. М.: Лесная пром-сть, 1985. 216 с.

16. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1966. 176 с.

References

1. Kougiya V. A. *Izbrannyye trudy. Issledovaniya po teorii matematicheskoy obrabotki rezul'tatov izmereniy* [Research on the theory of mathematical processing of measurement results]. St. Petersburg, PGUPS Publ., 2012. 447 p.

2. Várhegyi G., Wang L., Skreiberg Ø. Non-isothermal kinetics: best-fitting empirical models instead of model-free methods. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020, vol. 142, pp. 1043–1054.

3. Frollo I., Andris P., Strolka I., Baciak L. A Least Square Method for Measurement and Optimisation in Selected Physical Experiments. *Key Engineering Materials*, 2005, pp. 295–296.

4. Yeniay Ö., İşçi, Ö., Göktaş A., Çankaya M. Time Scale in Least Square Method. Available at: https://www.hindawi.com/journals/aaa/2014/354237/ (accessed 20.01.2020).

5. Kolesnev A. S., Kotin A. I., Matveyeva T. A., Zotova S. A. Smoothing of experimental dependencies by the method of least squares. *Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii* [Modern high technologies], 2014, no. 5–2, pp. 193–195.

6. Ayvazyan S. A. *Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki*. [Applied statistics. Fundamentals of Econometrics. Vol. 2]. Moscow, Yuniti-Dana Publ., 2001. 432 p.

7. Linnik U. V. *Metod naimen'shikh kvadratov i osnovy matematiko-statisticheskoy teorii obrabotki nablyudeniy* [The method of least squares and the foundations of the mathematical-statistical theory of observation processing]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy Literatury Publ, 1962. 354 p.

8. Yong Chen, Elvin T. Choong, David M. Wetzel. Optimum Average Diffusion Coefficient: An Objective Index in Description of Wood Drying Data. *Wood and Fiber Science*, 1994, no. 3, pp. 412–420.

9. Perry N. Peralta, Audimar P. Bangi. A nonlinear regression technique for calculating the average diffusion coefficient of wood during drying. *Wood and Fiber Science*, 2003, no. 3, pp. 401–408.

10. Mazanik N. V. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov v derevoobrabotke. Metody postroyeniya, analiza i vizualizatsii matematicheskikh modeley* [Modeling and optimization of processes in woodworking. Methods for constructing, analyzing and visualizing mathematical models]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 161 p.

11. Klepatskiy I. K., Rapovets V. V. Dynamics of the loss of the cutting ability of the blades of small-knife cutters during the aggregate processing of wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Forestry. Nature Management. Processing of Renevable resources, 2019, no. 2, pp. 298–303 (In Russian).

12. Mitin I. V., Rusakov B. C. *Analiz i obrabotka eksperimental'nykh dannykh* [Analysis and processing of experimental data]. Moscow, Fizicheskiy fakul'tet MGU Publ., 2004. 44 p.

13. Pizhurin A. A. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki* [Modeling and optimization of woodworking processes]. Moscow, MGU Publ., 2004. 375 p.

14. Rapovets V. V., Grinevich S. A., Burnosov N. V. *Konstruktsiya i raschety frezerno-brusuyushchikh stankov* [Construction and calculations of milling-canting machines]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 82 p.

15. Borovikov E. M., Fefilov L. A., Shestakov V. V. *Lesopileniye na agregatnom oborudovanii* [Sawmilling on aggregate equipment]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 216 p.

16. Bershadskiy A. L. *Raschet rezhimov rezaniya drevesiny* [Calculation of cutting modes of wood]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1966. 176 p.

Информация об авторах

Клепацкий Игорь Казимирович – ассистент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lucky-35@mail.ru

Раповец Вячеслав Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: slavyan_r@mail.ru

Information about the authors

Klepatski Ihar Kazimirovich – Assistant Lecturer, the Department of Automation of Industrial Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarurus). E-mail: lucky-35@mail.ru

Rapovets Vyacheslav Valer'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarurus). E-mail: slavyan_r@mail.ru

Поступила 25.03.2021

УДК 674.055:621.93.023.2

С. А. Гриневич, А. А. Гришкевич
Белорусский государственный технологический университет

РАСЧЕТ ЖЕСТКОСТИ ОСЕЙ КОГТЕВЫХ ЗАВЕС

Одним из факторов травматизма на деревообрабатывающих производствах является обратный вылет обрабатываемого материала или его элементов. Наибольший риск вылета характерен для деревообрабатывающих круглопильных станков для продольной распиловки натуральной древесины. С целью удержания заготовки или ее элементов в станке предназначены завесы из предохранительных упоров (когтевые завесы).

Основные требования к конструкции когтевых завес приведены в технических нормативных правовых актах. Одним из условий эффективной работы завесы из предохранительных упоров является прочность и жесткость ее элементов, и прежде всего оси, на которой подвижно установлены предохранительные упоры. И если с точки зрения прочности нормативные документы определяют требования к ее материалу, то с точки зрения жесткости таких требований нет. В то же время деформация оси при восприятии ударной нагрузки может быть значительной. Это подтверждается опытом анализа конструкций круглопильного оборудования, на котором имели место несчастные случаи, связанные с обратным выбросом заготовок. Предохранительные упоры на таких станках зачастую проворачивались в обратную относительно направления подачи сторону, а ось когтевых завес имела существенную пластическую деформацию.

В работе приведены и проанализированы требования технических нормативно-правовых актов, предъявляемые к параметрам осей когтевых завес. На основании рекомендуемых параметров геометрии оси и требований к ее прочности выполнены расчеты стрелы прогиба в зависимости от разных способов ее фиксации. Проведенные исследования выявили проблемы при использовании рекомендаций нормативных актов.

Ключевые слова: когтевая завеса, ось, прочность, жесткость, деформация.

Для цитирования: Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Расчет жесткости осей когтевых завес // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 345–349.

S. A. Grinevich, A. A. Grishkevich
Belarusian State Technological University

STIFFNESS CALCULATION OF THE CLAW CURTAINS AXES

One of the factors of injuries in woodworking industries is the reverse ejection of the processed material or its elements. The greatest risk of the ejection is typical for woodworking circular sawing machines for longitudinal sawing of natural wood. To hold the workpiece or its elements in the machine curtains of safety stops (claw curtains) are designed.

The main requirements for the design of a claw curtain are given in the technical regulations. One of the conditions for the effective operation of curtains of safety stops is the strength and rigidity of its elements and, above all, the axis on which the safety stops are movably set. And if from the point of view of strength, regulatory documents define the requirements for its material, then from the point of view of rigidity, there are no such requirements. At the same time, the deformation of the axis during the impact load can be significant. This is confirmed by the experience of analyze the designs of circular sawing equipment, where accidents associated with the reverse ejection of material have occurred. The safety stops on such machines were often turned in the opposite direction from the feed direction, and the axis of the claw curtains had a significant plastic deformation.

In the paper the requirements of technical regulations for the parameters of the axes of the claw curtains are presented and analyzed. Based on the recommended parameters of the axis geometry and the requirements for its strength, the deflection depending on the different ways of fixing it is calculated. The conducted research revealed problems when using the recommendations of regulatory acts.

Key words: claw curtain, axis, strength, rigidity, deformation.

For citation: Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Stiffness calculation of the claw curtains axes. *Processing of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Proceedings of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 345–349 (In Russian).

Введение. Вопросы повышения безопасности эксплуатации промышленного оборудования не теряют своей первостепенной важности. В том числе это относится и к деревообрабатывающей промышленности, где уровень травматизма продолжает оставаться довольно высоким. Основными причинами несчастных случаев при эксплуатации деревообрабатывающего оборудования являются соприкосновение оператора с подвижными частями станка и режущим инструментом, а также обратный выброс обрабатываемого материала или его элементов. Последнее наиболее характерно для круглопильных станков, осуществляющих продольную распиловку древесины [1, 2].

При этом, согласно Закону «Об охране труда» [3], наниматель обязан обеспечить безопасные условия труда. А согласно Правилам [4], деревообрабатывающее оборудование должно иметь защитные устройства, исключающие в процессе работы выбрасывание режущим инструментом обрабатываемых заготовок и отходов. Требования безопасности к деревообрабатывающему оборудованию регламентируются ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» [5]. Для удержания заготовки в станке при ее обратном выбросе предназначены завесы из противовыбрасывающих упоров, установленных, как правило, в несколько рядов (когтевые завесы). Основные требования к конструкции данного типа устройств изложены в ГОСТ 12.2.026.0-93 «Станки деревообрабатывающие. Требования безопасности к конструкции» [6] и СТБ ЕН 1870-4-2006 «Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 4. Станки многопилотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой» [7]. Также некоторые вопросы работоспособности когтевых завес были рассмотрены в работе [8].

Основная часть. При рассмотрении конструкций завес из противовыбрасывающих упоров на круглопильных станках, бывших в эксплуатации, а особенно на тех из них, где имели место несчастные случаи, связанные с обратным выбросом распиливаемого материала, была отмечена деформация осей когтевых завес. Очевидно, что сила от удара вылетающей заготовки была велика на столько, что произошла упругая деформация металлического стержня. С одной стороны, это подтверждает высокую скорость выброса элементов обрабатываемого материала [9], а с другой – о недоработках в конструкции механизма противовыбрасывающих упоров.

Минимальный диаметр оси противовыбрасывающих упоров определяется по графику (рис. 1) согласно СТБ ЕН 1870-4-2006 [7].

При этом вышеуказанный нормативный документ предлагает только одну расчетную схему (рис. 2).

К материалу оси приводится только одно требование – сталь с минимальным пределом прочности на растяжение $\sigma_р$ = 570 Н/мм^2 [7]. Соответственно, допускаемое напряжение при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа, может быть найдено как [10]

$$[\sigma_{изг}] = \frac{\sigma_р}{n}, \qquad (1)$$

где n – коэффициент запаса.

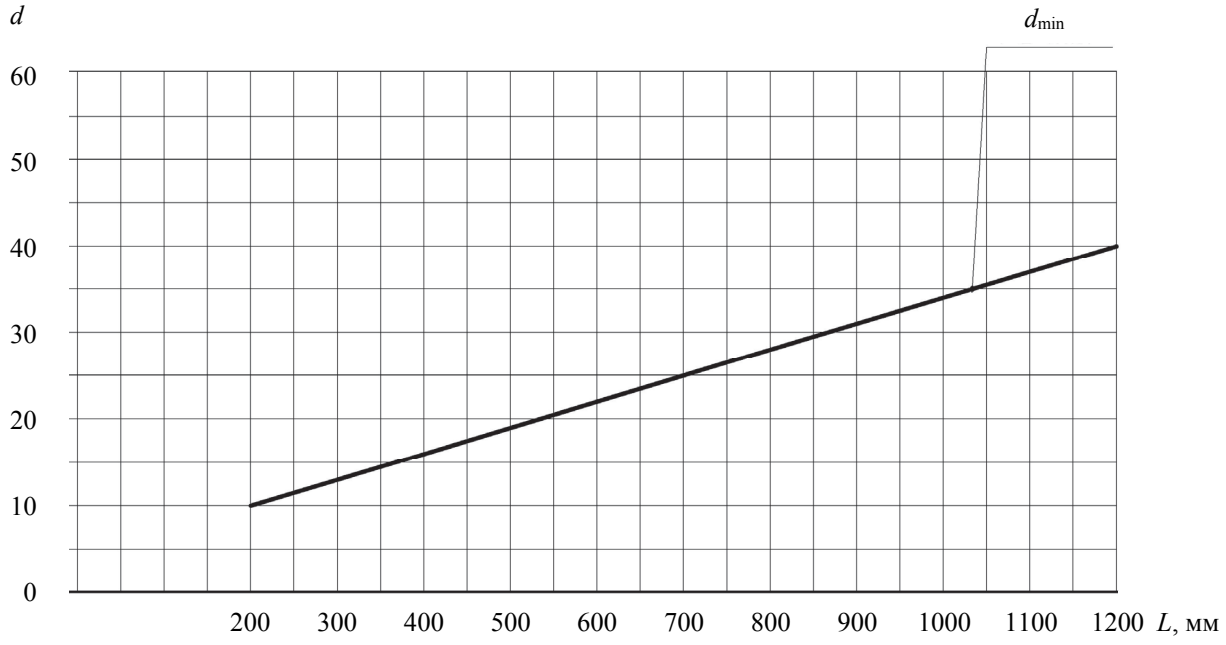


Рис. 1. График для определения минимального диаметра оси когтевой завесы

Коэффициент запаса варьируется в довольно широких пределах – от 1,3 до 5,0 [10]. Выбор значения n осуществляется с учетом конкретных условий работы конструкции и, по сути, должен назначаться на основе опыта создания аналогичных конструкций. Рекомендаций по его выбору вышеуказанный нормативный документ не приводит.

Однако прочность – не единственный критерий расчета диаметра оси механизма. Ее жесткость должна также играть роль, так как значительная деформация оси может создать условия для вылета элементов обрабатываемого материала, особенно малой толщины.

При этом следует отметить разнообразие конструкторских решений при монтаже оси в опорах, и не все из них сводятся к схеме, представленной на рис. 2.

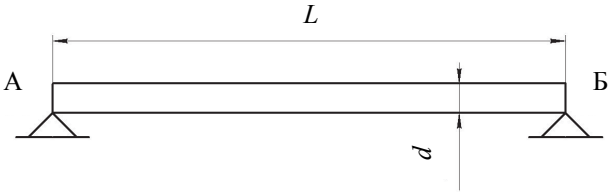


Рис. 2. Схема к определению минимального диаметра оси когтевой завесы

Так, на рис. 3 представлен вариант установки оси в опорах и осевой фиксацией за счет стопорных колец.

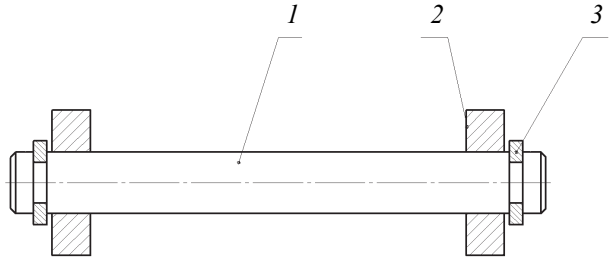


Рис. 3. Установка оси со стопорными кольцами

На рис. 4 представлена конструкция с установкой оси в опорах и ее последующей фиксацией штифтами.

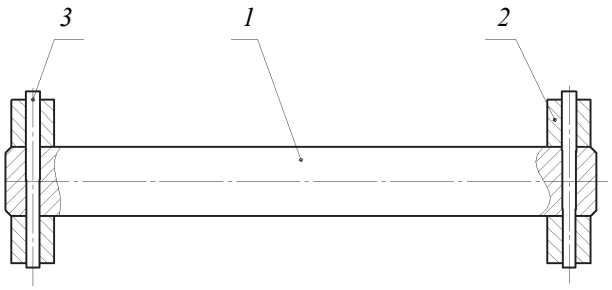


Рис. 4. Установка оси со штифтами

Очевидно, что вариант конструкции, показанный на рис. 3, может быть приведен к схеме, представленной на рис. 2.

Определим максимальный изгибающий момент $M_{изг}$, Н·м, из условия прочности [11]:

$$M_{изг} = [\sigma_{изг}] \cdot W, \quad (2)$$

где W – момент сопротивления сечения, мм^3.

Так как ось имеет круглое сечение, то

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}. \quad (3)$$

Значение нагрузки F, Н, приложенной по середине балки, для создания заданной величины изгибающего момента [8]

$$F = \frac{4 \cdot M_{изг}}{l}. \quad (4)$$

С учетом (1)–(4) можем записать

$$F = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \sigma_р}{8 \cdot n \cdot l}. \quad (5)$$

Величина стрелы прогиба для рассматриваемой схемы может быть определена как [9]

$$y = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}, \quad (6)$$

где E – модуль Юнга, Н/мм^2; J – момент инерции сечения, мм^4.

Для круглого сечения J, мм^4, найдем по формуле [10]

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}. \quad (7)$$

Перепишем (6) с учетом (5) и (7):

$$y = \frac{\sigma_р \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot d \cdot n}. \quad (8)$$

Пользуясь данными графика (рис. 1), определим для примера силу и стрелу прогиба, полагая $E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм^2, $n = 2$, $l = 700$ мм, $d = 25$ мм.

$$F = \frac{3{,}14 \cdot 25^3 \cdot 570}{8 \cdot 2 \cdot 700} = 2497 \text{ Н};$$

$$y = \frac{570 \cdot 700^2}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 25 \cdot 2} = 4{,}655 \text{ мм}.$$

Для варианта со штифтами расчетной схемой будет являться балка с защемленными концами (рис. 5).

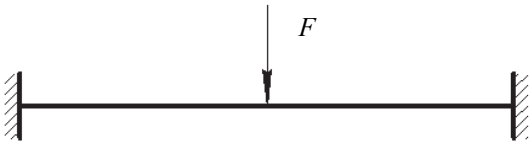


Рис. 5. Расчетная схема при установке оси со штифтами

Для этой схемы значение нагрузки F, Н, приложенной по середине балки, для создания заданной величины изгибающего момента [11]

$$F = \frac{8 \cdot M_{изг}}{l}. \quad (9)$$

Соответственно,

$$F = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \sigma_р}{4 \cdot n \cdot l}. \quad (10)$$

Величина стрелы прогиба для рассматриваемой схемы может быть определена как [12]

$$y = \frac{F \cdot l^3}{192 \cdot E \cdot J}. \quad (11)$$

Аналогично перепишем формулу для определения стрелы прогиба с учетом (7) и (10):

$$y = \frac{\sigma_р \cdot l^2}{12 \cdot E \cdot d \cdot n}. \quad (12)$$

Рассчитаем силу и стрелу прогиба для аналогичных условий:

$$F = \frac{3{,}14 \cdot 25^3 \cdot 570}{4 \cdot 2 \cdot 700} = 4994 \text{ Н};$$

$$y = \frac{570 \cdot 700^2}{12 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 25 \cdot 2} = 2{,}328 \text{ мм}.$$

Сопоставляя полученные результаты при расчетах для схем, указанных на рис. 2 и 5, видим, что схема с заделанными концами оси когтевых завес выдерживает в 2 раза большую нагрузку до достижения предела прочности и обеспечивает в 2 раза более высокую жесткость.

Заключение. Существующие рекомендации, приведенные в отечественных ТНПА, не совершенны, так как не учитывают всех факторов, влияющих на эффективность работы когтевых завес, а именно:

1) не учтены конструктивные особенности крепления осей когтевых завес. Как показал расчет, правильный выбор крепления может не только повысить прочность и жесткость конструкции, но и позволяет снизить ее металлоемкость;

2) графическая зависимость (рис. 1), предложенная в СТБ ЕН 1870-4-2006 по выбору диаметра оси когтевой завесы, вызывает вопросы, так как согласно формулам сопротивления материалов, соотношения l и d не носят линейный характер ни с точки зрения прочности, ни с точки зрения жесткости;

3) отсутствуют рекомендации по выбору коэффициента запаса, и нет даже ориентировочных значений нагрузок, воспринимаемых когтевыми завесами.

На основании вышеизложенного очевидно, что необходимы дополнительные экспериментальные и теоретические исследования, направленные на определение сил, возникающих при срабатывании когтевых завес и совершенствование конструкций последних.

Список литературы

1. Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Гаранин В. Н. К вопросу об обеспечении безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования: материалы докл. 84-й науч.-техн. конф., посвященной 90-летнему юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 2020. Минск: БГТУ, 2020. С. 152–153.

2. Волкович Д. С. Определение угла заклинивания зубчатой завесы: тез. докл. 71-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов БГТУ. Минск: БГТУ, 2020. С. 229–231.

3. Об охране труда: Закон Респ. Беларусь от 23 июня 2008 г. № 356-З: в ред. от 18 дек. 2019 г. № 274-З. URL: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900274_1577394000.pdf (дата обращения: 20.03.2021).

4. Правила по охране труда при ведении лесного хозяйства, обработке древесины и производстве изделий из дерева: постановление Министерства труда и соц. защиты Респ. Беларусь и Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь № 32/5 от 30.03.2020. URL: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035383p_159018100.pdf (дата обращения: 20.03.2021).

5. О безопасности машин и оборудования: ТР ТС 010/2011. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Documents/P_823_1.pdf (дата обращения: 19.03.2021).

6. Оборудование деревообрабатывающее. Требования безопасности к конструкции: ГОСТ 12.2.026.0-1993. Введ. 01.01.1996. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1996. 46 с.

7. Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Ч. 4. Станки многополотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой: СТБ ЕН 1870-4-2006. Введ. 01.01.2007. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2006. 36 с.

8. Гриневич С. А., Гришкевич А. А., Волкович Д. С. К вопросу об обеспечении безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2. С. 325–329.

9. Волкович Д. С. Расчет импульса и энергии заготовки, выбрасываемой при захвате дисковой пилой: тез. докл. 71-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов БГТУ. Минск: БГТУ, 2020. С. 190–191.

10. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963. 540 с.

11. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наук. думка, 1988. 736 с.

12. Маковский Н. В. Проектирование деревообрабатывающих машин. М.: Лесная пром-сть, 1982. 304 с.

References

1. Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Garanin V. N. On the issue of ensuring safety in the operation of circular saw equipment: *84-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 90-letnemu yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiem)* [The 84th Scientific and technical conference dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation)]. Minsk, 2020, pp. 152–153 (In Russian).

2. Volkovich D. S. Determination of the angle of jamming of the toothed curtain: *71-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya uchashchitkhsya, studentov i magistrantov BGTU* [71st Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and undergraduates of BSTU]. Minsk, 2020, pp. 229–231 (In Russian).

3. *Ob okhrane truda* [On Labor Protection]. Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900274_1577394000.pdf (accessed 20.03.2021).

4. *Pravila po okhrane truda pri vedenii lesnogo khozyaystva, obrabotke drevesiny i proizvodstve izdeliy iz dereva* [Rules for labor protection in forestry, wood processing and production of wood products]. Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035383p_1590181200.pdf (accessed 20.03.2021).

5. *O bezopasnosti mashin i oborudovaniya* [On the safety of machinery and equipment]. Available at: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Documents/P_823_1.pdf (accessed 19.03.2021).

6. GOST 12.2.026.0–1993. *Oborudovaniye derevoobrabatyvayushcheye. Trebovaniya bezopasnosti k konstruktsii* [Woodworking equipment. Safety requirements for the design]. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 1996. 46 p. (In Russian).

7. STB EN 1870-4-2006. *Bezopasnost' derevoobrabatyvayushchikh stankov. Stanki kruglopil'nyye. Ch. 4. Stanki mnogopolotnyye dlya prodol'noy rezki s ruchnoy zagruzkoy i/ili vygruzkoy* [Safety of woodworking machines. Circular sawing machines. Part 4. Multiblade rip sawing machines with manual loading and/or unloading]. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 2006. 36 p. (In Russian).

8. Grinevich S. A., Grishkevich A. A., Volkovich D. S. On the issue of ensuring safety in the operation of circular saw equipment *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources. 2020, no. 2, pp. 325–329 (In Russian).

9. Volkovich D. S. Calculation of the pulse and energy of the blank, ejected when gripping a circular saw. *71-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov BGTU* [71st Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and undergraduates of BSTU]. Minsk, 2020, pp. 190–191 (In Russian).

10. Feodos'yev V. I. *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1963. 540 p.

11. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Handbook on the resistance of materials]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988. 736 p.

12. Makovsky N. V. *Proyektirovaniye derevoobrabatyvayushchikh mashin* [Design of woodworking machines]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 304 p.

Информация об авторах

Гриневич Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: grinevich@belstu.by

Гришкевич Александр Александрович − кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Information about the authors

Grinevich Sergey Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: grinevich@belstu.by

Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Поступила 23.03.2021

УДК 674.05:621.923.6

А. А. Гришкевич, Д. Л. Болочко
Белорусский государственный технологический университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ САМОЗАТАЧИВАНИЯ ЛЕЗВИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Период стойкости дереворежущего инструмента и мощность на резание определяющим образом связаны с радиусом округления режущей кромки лезвия, который в процессе работы постоянно изменяется.

В настоящее время, время развития науки о режущих инструментах, основной проблемой следует считать исследование физической сущности износа – затупления режущих инструментов и выбор оптимальных, более износостойких материалов для изготовления режущих элементов, а также совершенствование геометрических параметров дереворежущего инструмента и выбор оптимальных режимов резания.

Одним из путей увеличения производительности деревообрабатывающего оборудования является увеличение периода стойкости инструмента, который определяется радиусом округления режущей кромки. Поэтому сохранить неизменным установленный радиус округления является задачей актуальной и своевременной. Особенно это касается высокопроизводительных линий машин, где продолжительность замены инструмента очень сильно сказывается на себестоимости производимой продукции.

Достичь неизменности установленного радиуса округления режущей кромки лезвия возможно при использовании в инструменте так называемого эффекта самозатачивания. При этом механизмы реализации этого эффекта могут быть разными.

В настоящей работе представлены результаты исследований по изучению механизма самозатачивания лезвий с целью создания в дальнейшем дереворежущих инструментов, работающих по этому принципу.

Ключевые слова: лезвие, износ, режущая кромка, самозатачивание, радиус округления, угол заточки.

Для цитирования: Гришкевич А. А., Болочко Д. Л. Результаты исследований определения условий самозатачивания лезвия дереворежущего инструмента // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозво, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 350–355.

A. A. Grishkevish, D. L. Bolochko
Belarusian State Technological University

STUDY RESULTS DEFINITIONS CONDITIONS FOR SELF-GROUNDING OF THE WOOD CUTTING BLADE TOOL

The durability period of a wood-cutting tool and the cutting power are in a decisive way related to the radius of rounding of the cutting edge of the blade, which constantly changes during operation.

At present, the time of the development of the science of cutting tools, the main problem should be considered the study of the physical nature of wear - bluntness of cutting tools and the choice of optimal, more wear-resistant materials for the manufacture of cutting elements, as well as improving the geometric parameters of wood cutting tools and the choice of optimal modes cutting.

One of the ways to increase the productivity of woodworking equipment is to increase the tool life, which is determined by the radius of the cutting edge rounding. Therefore, keeping the set rounding radius unchanged is a topical and timely task. This is especially true for high-performance machine lines, where the duration of tool replacement has a very strong effect on the cost of production.

It is possible to achieve the invariability of the set radius of rounding of the cutting edge of the blade when using the so-called self-sharpening effect in the tool. In this case, the mechanisms for the implementation of this effect may be different.

This work presents the results of studies on the study of the mechanism of self-sharpening of blades in order to create in the future wood-cutting tools operating on this principle.

Key words: blade, wear, cutting edge, self-sharpening, rounding radius, sharpening angle.

For citation: Grishkevich A. A., Bolochko D. L. Study results definitions condtions for self-grounding of the wood cutting blade tool. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 350–355 (In Russian).

Введение. В современных условиях совершенствование инструмента происходит в тесной взаимосвязи с развитием станкостроения и технологического процесса. Выбор инструмента делается с учетом технологического процесса обработки детали и станка, на котором выполняется конкретная технологическая операция. Хороший режущий инструмент обеспечивает высокую производительность труда при требуемом качестве обработки деталей. Роль режущего инструмента в современном производстве настолько велика, что у производственников входит в обращение пресловутая фраза: «Все дивиденды предприятий сидят на острие режущего инструмента» [1].

Лезвие режущего инструмента при срезании припуска с обрабатываемой заготовки под действием сил трения подвергается износу. Затупление лезвий характеризуется изменением их микрогеометрии в процессе резания. Критерий затупления характеризуется максимально допустимым значением износа режущего инструмента, после достижения которого наступает его отказ, т. е. неработоспособное состояние. Продолжение резания таким лезвием приведет к недопустимому нарушению установленных показателей обработки древесины.

Целью настоящего исследования является изучение эффекта самозатачивания многослойного лезвия, обеспечивающего постоянство радиуса округления режущей кромки, при обработке древесины насадным фрезерным инструментом.

Основная часть. Для успешной работы дереворежущего инструмента необходимо, чтобы он обладал определенным комплексом свойств, соответствующих условиям его работы [2].

Фрезерный инструмент имеет многочисленные конструктивные формы и является основным режущим инструментом фрезерных станков [3].

В настоящее время существует множество производителей фрезерного дереворежущего инструмента, среди которых наиболее крупными являются Leuco, Leitz, Иберус-Киев и др.

При проектировании вращающихся инструментов должно быть уделено серьезное внимание условиям безопасности применения инструментов, таким как прочное крепление вставных ножей, проверка прочности пайки, обтекаемая форма инструмента, балансировка, соответствующее качество материалов для изготовления инструмента [4].

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов спроектирована и изготовлена экспериментальная фреза с самозатачивающимися ножами (рис. 1).

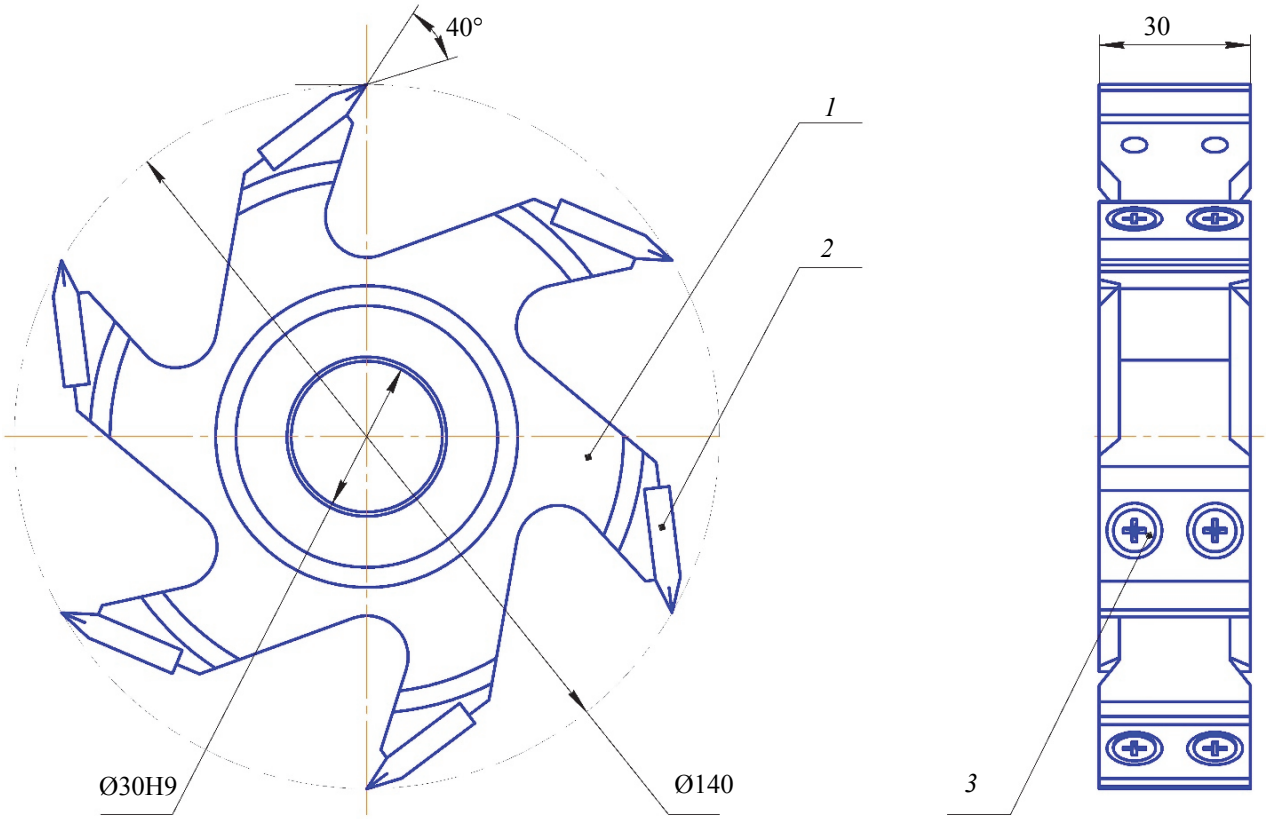


Рис. 1. Фреза с самозатачивающимися ножами:
1 – корпус инструмента;
2 – самозатачивающийся нож; *3* – винт

Фреза насадная сборная состоит из цельного корпуса *1* и сменных ножей *2*, закрепленных на корпусе при помощи винтов *3*. Корпус изготавливается из одного куска металла, имеет отверстие для установки инструмента на шпиндельные насадки. Конструкция фрезы соответствует требованиям, установленным ГОСТами [5, 6].

Ранее в работе [7] было представлено самозатачивающееся лезвие с выемкой в форме канавки на режущей кромке, выполненной по биссектрисе угла лезвия по всей длине и заполненной материалом из нитрида, карбида или карбонитрида, тугоплавкого металла (рис. 2).

Такая конструкция ножа позволяет образовывать режущую кромку, которая обладает эффектом замозатачивания. В процессе работы поверхностные слои ножа изнашиваются быстрее, чем более износостойкий тугоплавкий материал выемки режущей кромки [8].

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов создана экспериментальная установка на базе четырехстороннего продольно-фрезерного станка Unimat 23EL, конструкция которого включает в себя станину, на которой смонтированы шесть шпинделей, подающая траверса, механизмы привода и настройки [9, 10].

На рис. 3 представлена фотография машины и узлов Unimat 23EL с экспериментальным инструментом.

Фреза с самозатачивающимися ножами установлена на первый правый вертикальный шпиндель, настройка которого производится путем его перемещения по вертикали и горизонтали вручную при помощи рукоятки [11].

Методика эксперимента – это совокупность приемов, позволяющих разумно поставить эксперимент, сообразуясь с целью исследования, со стремлением получить максимальную информацию при ограниченном числе опытов, а также правильно обработать и интерпретировать результаты эксперимента [12].

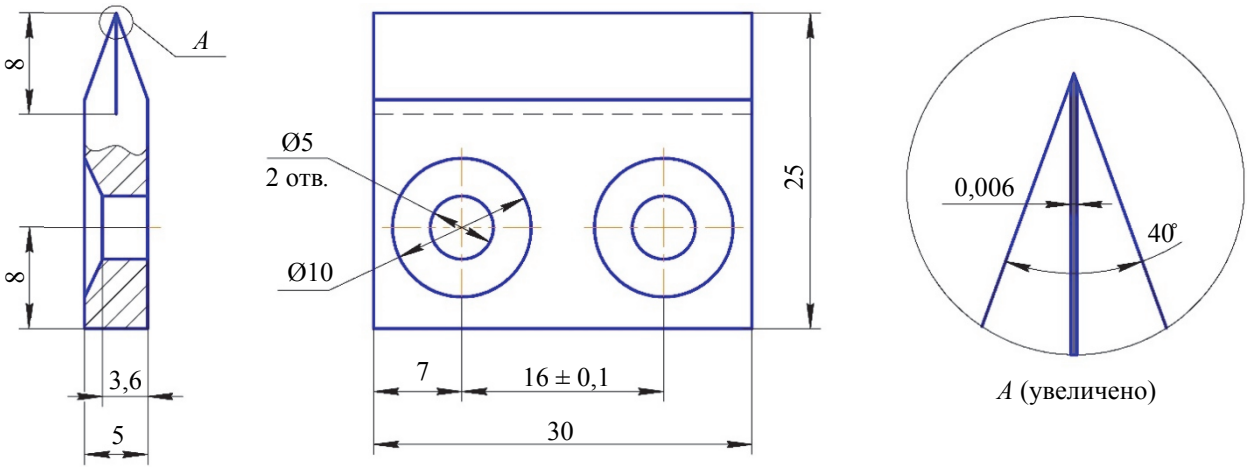


Рис. 2. Самозатачивающейся нож

а *б*

Рис. 3. Экспериментальная установка:
а – машина Unimat 23EL; *б* – экспериментальный инструмент

В нашем случае для постановки эксперимента определены режимы обработки (таблица) и выбран обрабатывающий материал породы сосны длиной 1500 мм, шириной 90 мм и толщиной 25 мм.

Экспериментальные данные

Параметр	Значение
Частота вращения шпинделя, n, мин $^{-1}$	3000
Количество лезвий, z, шт.	1
Радиус окружности резания, R, мм	71,47
Снимаемый припуск, h, мм	3
Скорость подачи, V_s, м/мин	6

Скорость резания V_e, м/с, определяется по зависимости [13]

$$V_e = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (1)$$

где n – частота вращения шпинделя станка, мин$^{-1}$; D – диаметр резания, мм.

Тогда

$$V_e = \frac{3{,}14 \cdot 2 \cdot 71{,}47 \cdot 3000}{60 \cdot 1000} = 22{,}44 \text{ м/с}.$$

Длина дуги контакта l_k, мм, определяется по формуле [14]

$$l_k = \sqrt{h \cdot D}, \quad (2)$$

где h – высота снимаемого слоя, мм.

Тогда, подставив значения, получим

$$l_k = \sqrt{3 \cdot 2 \cdot 71{,}47} = 20{,}7 \text{ мм}.$$

Подача на нож S_z, мм, определяется по формуле [13]

$$S_z = \frac{1000 \cdot V_s}{z \cdot n}, \quad (3)$$

где V_s – скорость подачи, м/мин; z – количество лезвий, шт.

Подставив данные из таблицы в формулу (3), получим

$$S_z = \frac{1000 \cdot 6}{1 \cdot 3000} = 2 \text{ мм}.$$

Путь контакта режущей кромки лезвия в материале в одной доске за 1 проход $\sum l_k$, мм, определяется по зависимости [15]

$$\sum l_k = l_k \cdot \frac{L_{заг}}{S_z}, \quad (4)$$

где $L_{заг}$ – длина заготовки, мм.

$$\sum l_k = 20{,}7 \cdot \frac{1500}{2} = 15\,525 \text{ мм} \approx 15{,}5 \text{ м п.}$$

Суммарный путь контакта режущей кромки лезвия в материале в 14 досках $\sum l_{мат}$, м п., равен

$$\sum l_{мат} = \sum l_k \cdot k \cdot t, \quad (5)$$

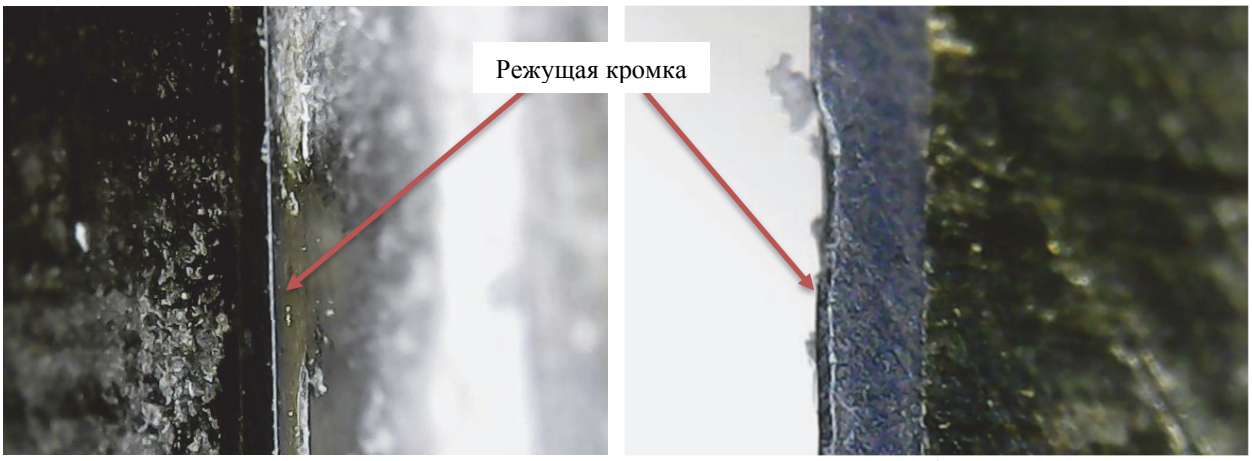
где k – количество проходов в одной доске; t – количество досок.

$$\sum l_{мат} = 15{,}5 \cdot 8 \cdot 14 = 1736 \text{ м п.}$$

На рис. 4 представлена микрогеометрия режущей кромки острого лезвия и лезвиия, потерявшего режущую способность.

Радиус закругления лезвия не может в полной мере характеризовать работоспособность режущего инструмента. Одно и то же состояние лезвия для одних условий считается тупым, неработоспособным, а для других условий – достаточно острым и работоспособным.

Понятия «работоспособность» и «затупление» всегда следует рассматривать во взаимосвязи с результатами работы лезвия: шероховатостью и точностью обработанной поверхности, получением ломанной стружки, энергопотреблением, производительностью и параметрами шума [1].



а *б*

Рис. 4. Микрогеометрия режущей кромки:
а – острое лезвие; *б* – лезвие, потерявшее режущую способность

На рис. 5 представлена получаемая стружка при обработке заготовок лезвием, потерявшим режущую способность.

Рис. 5. Получаемая стружка при обработке лезвием, потерявшим режущую способность

Как видно из рис. 5, при обработке лезвием, потерявшим режущую способность, получалась ломанная стружка. К тому же в процессе появлялись ударные нагрузки, приводящие к шуму и вибрации. Указанные параметры определяют критерий затупления.

Заключение. В работе предложено возможное техническое решение конструкции экспериментального многослойного лезвия.

Экспериментальные исследования показали, что в процессе работы поверхностные слои лезвия изнашиваются быстрее, чем более износостойкий тугоплавкий материал выемки режущей кромки. В конечном итоге, когда базовый материал лезвия стерся и не обеспечивал достаточную опору для всего материала выемки, микрочастицы выемки отрывались, после чего оставался более тонкий слой на кромке лезвия. Такой непрерывный износ будет поддерживать неизменность радиуса округления кромки лезвия.

В дальнейшем будут проводиться исследования по уточнению физико-механических свойств материала переходных слоев лезвия и их количества.

Список литературы

1. Глебов И. Т. Дереворежущий инструмент. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 197 с.
2. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. М.: Лесная пром-сть, 1971. 344 с.
3. Зотов Г. А., Швырев Ф. А. Подготовка и эксплуатация дереворежущего инструмента. М.: Лесная пром-сть, 1986. 301 с.
4. Раповец В. В. Проектирование и производство деревообрабатывающего инструмента. Минск: БГТУ, 2015. 74 с.
5. Фрезы дереворежущие насадные цилиндрические сборные. Технические условия: ГОСТ 13932–80. Введ. 01.01.1982. М.: Изд-во стандартов, 1980. 7 с.
6. Фрезы насадные, оснащенные твердым сплавом, для обработки древесных материалов и пластиков. Технические условия: ГОСТ Р 52419–2005. Введ. 27.12.2005. М.: Стандартинформ, 2005. 12 с.
7. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Болочко Д. Л. Увеличение периода стойкости ножей самозатачиванием их лезвий // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 294–297.
8. Самозатачивающееся лезвие: пат. № 20824 Респ. Беларусь; заявл. 05.12.2013; опубл. 28.11.2016.
9. Оборудование для производства мебели. URL: http://stankowood.ru/catalog/offers/3513/ (дата обращения: 22.03.2021).
10. Гриневич С. А. Конструкции деревообрабатывающего оборудования. Минск: БГТУ, 2016. 76 с.
11. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2014. 88 с.
12. Горский В. Г. Планирование промышленных экспериментов. М.: Металлургия, 1974. 264 с.
13. Гришкевич А. А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания. Минск: БГТУ, 2012. 109 с.
14. Бершадский А. Л. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
15. Глебов И. Т. Расчет режимов резания. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 155 с.

References

1. Glebov I. T. *Derevorezhushchiy instrument* [Wood cutting tools]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2002. 197 p.
2. Grube A. E. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Wood-cutting tools]. Moscow, Lesnaya prom-st’ Publ., 1971. 344 p.
3. Zotov G. A., Shvyrev F. A. *Podgotovka i ekspluatatsiya derevorezhushchego instrumenta* [Preparation and operation of wood-cutting tools]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1986. 301 p.

4. Rapovets V. V. *Proyektirovaniye i proizvodstvo derevoobrabatyvayushchego instrumenta* [Design and production of woodworking tools]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 74 p.

5. GOST 13932–80. *Frezy derevorezhushchiye nasadnyye tsilindricheskiye sbornyye. Tekhnicheskiye usloviya* [Mills wood-cutting shell-mounted cylindrical prefabricated. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1980. 7 p. (In Russian).

6. GOST R 52419–2005. *Frezy nasadnyye, osnashchennyye tverdym splavom, dlya obrabotki drevesnykh materialov i plastikov. Tekhnicheskiye usloviya* [Shell cutters, equipped with carbide, for processing wood materials and plastics. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 12 p. (In Russian).

7. Grishkevich A. A., Garanin V. N., Bolochko D. L. Increasing the durability period of knives by self-sharpening their blades. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2 (222), pp. 294–297 (In Russian).

8. Grishkevich A. A., Chayevskiy V. V. *Samozatachivayushcheyesya lezviye* [The self-sharpened edge]. Patent BY, no. 20824, 2016.

9. *Oborudovaniye dlya proizvodstva mebeli* [Equipment for the production of furniture]. Available at: http://stankowood.ru/catalog/offers/3513/ (accessed 22.03.2021).

10. Grinevich S. A. *Konstruktsii derevoobrabatyvayushchego oborudovaniya* [Constructions of woodworking equipment]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 76 p.

11. Grishkevich A. A., Garanin V. N. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravleniye protsessami rezaniya. Laboratornyy praktikum* [Mechanical processing of wood and wood materials, control of cutting processes. Laboratory workshop]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 88 p.

12. Gorskiy V. G. *Planirovaniye promyshlennykh eksperimentov* [Planning of industrial experiments]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1974. 264 p.

13. Grishkevich A. A. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravleniye protsessami rezaniya* [Mechanical processing of wood and wod materials, control of cutting processes]. Minsk, BGTU Publ., 2012. 109 p.

14. Bershadskiy A. L. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1975. 303 p.

15. Glebov I. T. *Raschet rezhimov rezaniya* [Calculation of cutting modes]. Yekaterinburg, UGLTU Publ., 2005. 155 p.

Информация об авторах

Гришкевич Александр Александрович − кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Болочко Дмитрий Леонидович – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

Information about the authors

Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Bolochko Dmitry Leonidovich – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

Поступила 25.03.2021

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ 5

Коцан В. В., Севко О. А., Яронская Т. Л. Влияние рубок прореживания на формирование чистых еловых древостоев 5

Машковский В. П., Зорин В. П., Севрук П. В. Средний прирост стоимости древесины различных пород в Беларуси 12

Минкевич С. И., Абрамчук А. В., Коцан В. В., Севрук П. В., Демид Н. П. Выявление в лесном фонде особо ценных лесных участков 18

Севко О. А. Влияние изменения пространственной структуры на прирост второго яруса ели в сложном древостое 28

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО 36

Гарбарук Д. К., Углянец А. В., Воронецкая А. Н. Лесообразование в бывших населенных пунктах, расположенных на плодородных почвах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции 36

Лабоха К. В., Прищепов А. А., Луферов А. О. Пути формирования естественных сосновых насаждений рубками обновления 51

Шатравко В. Г., Рожков Л. Н. Особенности воспроизводства и выращивания сосновой формации Беларуси 58

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ 66

Гвоздев В. К., Волкович А. П. Лесоводственное обоснование оптимальной густоты посадки лесных культур ели европейской 66

Машкин И. А., Шуканов В. П., Мельникова Е. В., Корытько Л. А., Полянская С. Н. Изменение морфобиометрических и физиолого-биохимических параметров сеянцев сосны (*Pinus sylvestris* L.) при обработке защитно-стимулирующими составами 73

Носников В. В., Селищева О. А. Качественные характеристики поливной воды и их влияние на технологические аспекты выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой 81

Носников В. В., Юреня А. В., Граник А. М., Селищева О. А. Взаимосвязь электропроводности субстрата и содержания основных элементов питания 88

Падутов В. Е. Процессы гибридизации дуба черешчатого и дуба скального по результатам молекулярно-генетического анализа 93

Khryk V. M., Kimeichuk I. V., Nosnikau V. V., Rabko S. U., Kozel A. U., Maliuha V. M., Yukhnovskyi V. Y. Stability of natural regeneration at ravine-gylly systems 103

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО 112

Бабуль Д. А., Сазонов А. А., Кухта В. Н., Уколова Е. А. Состояние сосновых насаждений и анализ встречаемости короедного усыхания в отдельных лесхозах Гомельского Полесья в 2017–2020 гг. 112

Евсеева О. П., Шумская П. В. Рекомендации по ландшафтной адаптации архитектурно-пространственной среды учреждений общего среднего образования для детей с ОПРФ и инвалидов 121

Сазонов А. А. 13-летняя динамика состояния дубравы в пойме реки Березины 128

Сауткин Ф. В. Членистоногие фитофаги – вредители робиний (*Robinia* S. L.) в условиях Беларуси 138

Сахвон В. В. Видовой состав городских древесных зеленых насаждений как фактор, определяющий выбор мест для гнездования Врановыми 149

Усеня В. В., Севницкая Н. Л., Помаз Г. М. Оценка биологической эффективности различных способов очистки лесосек от порубочных остатков на вырубках сосновых насаждений в очагах стволовых вредителей 157
Усеня В. В., Блинова Н. С. Мониторинг численности усачей рода *Monochamus* с применением феромонного препарата «Монвабол» в хвойных насаждениях 164

ТУРИЗМ И ЛЕСООХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО 170

Андреева В. Л. Изучение разнообразия критериев эстетической оценки ландшафтов 170
Гордей Д. В., Морозов О. В. Характеристика сортов *Vaccinium angustifolium* Ait. белорусской селекции и концепция дальнейшего селекционного улучшения вида в условиях культивирования на верховых торфяниках Белорусского Поозерья 179

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ 188

Голякевич С. А. Анализ и перспективы использования лесозаготовительной техники в природно-производственных условиях Республики Беларусь 188
Духовник А. А., Леонов Е. А., Арико С. Е., Клоков Д. В. Совершенствование технологии освоения труднодоступного лесосечного фонда 196
Леонов Е. А., Клоков Д. В., Исаченков В. С. Применение двухступенчатой трелевки в условиях Республики Беларусь 202
Ким Ю. А., Насковец М. Т., Жарков Н. И., Гиль В. И. Исследование процесса взаимодействия колесного движителя с двухслойным грунтовым основанием 208
Симанович В. А., Пищов М. Н., Бельский С. Е., Царук Ф. Ф., Скворцов Д. Н. Анализ основных условий эксплуатации и динамической нагруженности ответственных деталей трансмиссии трелевочных тракторов 212
Исаченков В. С., Арико С. Е., Симанович В. А. К вопросу выбора параметров технологического оборудования колесных трелевочных машин 218
Шошин А. О. Новые технологические решения при разработке заболоченного лесосечного фонда мобильными канатными трелевочными установками 224

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ 236

Копылова Т. И., Гузий С. Г., Божелко И. К., Коновалова А. А. Оценка долговечности водно-дисперсионного лака ВД АК11Л при окраске древесины дуба 236
Невзорова А. Б., Романенко В. В. О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках пути 242
Полховский А. В., Прохорчик С. А., Шетько С. В., Ручкина Е. В. Разработка конструкции облегченных спортивно-беговых пластиковых лыж 250
Игнатович Л. В., Тулейко В. В., Чуйков А. С., Утгоф С. С. Оптимизация технологических параметров термохимического модифицирования древесины мягких лиственных пород с целью получения максимального обобщенного критерия оценки качества физико-механических свойств 260
Рудак О. Г. Исследование параметров технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде 268
Рудак О. Г. Исследование процессов тепломассопереноса при прогреве древесины в ненасыщенной среде 277
Федосенко И. Г. Оценка возможности использования коры деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, для производства гранул 284
Леонович О. К., Мазало Н. А. Исследование долговечности древесины, пропитанной водорастворимыми и масляными средствами, в различных условиях службы 290

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА 298

Чернушевич Г. А., Азовская Н. О., Домненкова А. В., Киселев С. В. Анализ влияния радиактивного загрязнения «даров леса» на внутреннее облучение населения 298
Левкевич В. Е., Касперов Г. И., Зязюля У В. Применимость методов оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций для водоемов карьерного типа 306

Пищов М. Н., Бельский С. Е., Адель Абдель Вассет Рашид, Вергейчик А. В. Повышение усталостных характеристик ряда конструкционных и инструментальных сталей поверхностным упрочнением ... 313
Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Алифировец Г. В. Особенности конструкции пилы дисковой сборной для резания древесины ... 320
Машорипова Т. А., Гришкевич А. А. Особенности трансформации угла резания сверлильного инструмента в зависимости от положения его лезвия ... 327
Аникеенко А. Ф., Машорипова Т. А. Исследование влияния параметров упругих элементов новой конструкции сверлильного инструмента на глубину сверления ЛДсТП ... 333
Клепацкий И. К., Раповец В. В. Математическая модель прогноза изменения радиуса округления режущей кромки ножей фрезерно-брусующей машины ... 340
Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Расчет жесткости осей когтевых завес ... 345
Гришкевич А. А., Болочко Д. Л. Результаты исследований определения условий самозатачивания лезвия дереворежущего инструмента ... 350

CONTENTS

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY **5**

Kotsan V. V., Sevko O. A., Yaronskaya T. L. Influence of thinning cuttings on the formation of clean spruce stands 5

Mashkovsky V. P., Zorin V. P., Sevruk P. V. Average increase of timber cost different species in Belarus 12

Minkevich S. I., Abramchuk A. V., Kotsan V. V., Sevruk P. V., Demid N. P. Identification of specially valuable forest sites in the forest fund 18

Sevko O. A. The influence of changes in the spatial structure on the growth of the second layer of spruce in a complex tree 28

FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE **36**

Garbaruk D. K., Uglyanets A. V., Voronetskaya A. N. Forest formation in former localities located on fertile soils in the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone 36

Labokha K. V., Prishchepov A. A., Luferov A. O. Ways of formation of natural pine forests by renovation felling 51

Shatravko V. G., Rozhkov L. N. Features of reproduction and cultivation of the pine formation of Belarus 58

FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING **66**

Gvozdev V. K., Volkovich A. P. Forestry investigation of optimal planting density of forest cultures of European spruce 66

Mashkin I. A., Shukanov V. P., Mel'nikova E. V., Koryt'ko L. A., Polyanskaya S. N. Changes of morphobiometric, physiological and biochemical parameters of pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.) when application protective-stimulating compositions 73

Nosnikov V. V., Selishcheva O. A. Qualitative characteristics of irrigation water and their influence on technological aspects of cultivation of container planting material of coniferous species 81

Nosnikov V. V., Yurenya A. V., Granik A. M., Selishcheva O. A. Relationship of electrical conductivity of substrate and content of main nutrients 88

Padutov V. E. Processes of hybridization in sessile and pedunculate oak by the results of molecular genetics analysis 93

Khryk V. M., Kimeichuk I. V., Nosnikau V. V., Rabko S. U., Kozel A. U., Maliuha V. M., Yukhnovskyi V. Y. Stability of natural regeneration at ravine-gylly systems 103

FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING **112**

Babul' D. A., Sazonov A. A., Kukhta V. N., Ukolova E. A. State of pine stands and analysis of the incidence of pine drying in separate forestry enterprises of the Gomel Polesia in 2017–2020 112

Evseeva O. P., Shumskaya P. V. Recommendations for landscape adaptation of the architectural and spatial environment of general secondary education institutions for children with OPFR and the disabled 121

Sazonov A. A. 13-year-old dynamics of the state of floodplain oak forests of the Berezina river 128

Sautkin F. V. Arthropodous phytophages – pests of robinia trees (*Robinia* S. L.) under conditions of Belarus 138

Sakhvon V. V. Species composition of urban green spaces as factor affecting selection of nest sites by corvids 149

Usenya V. V., Sevnitskaya N. L., Pomaz G. M. Assessment of biological efficiency of different methods clearing of cutting areas from logging residues on felling pine stands in the foci of pine stem pests 157

Usenya V. V., Blinova N. S. Monitoring of the number of longhorn beetles of the genus Monochamus with the application of the pheromone Preparation MONVABOL in coniferous plants 164

TOURISM AND FOREST HUNTING 170

Andreeva V. L. Studying a variety of criteria for aesthetic evaluation of landscapes..... 170
Gordey D. V., Morozov O. V. The characteristics of *Vaccinium angustifolium* Ait. varieties of belarusian selection and conception of further selection improvement of species under cultivation in conditions of a developed riding peat bogs in Belarusian Poozerie..... 179

TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS.... 188

Golyakevich S. A. Analysis and prospects of logging technology in natural production conditions of the Republic of Belarus 188
Dukhovnik A. A., Leonov E. A., Ariko S. Ye., Klokov D. V. Perfection of technology development of difficult-cutting fund..... 196
Leonov E. A., Klokov D. V., Isachenkov V. S. Using the two-stage skidding in the conditions of the Republic of Belarus..... 202
Kim Yu. A., Naskovets M. T., Zharkov N. I., Gil V. I. Research of the interaction process of the wheel drive with double-layer soil base..... 208
Simanovich V. A., Pishchov M. N., Belsky S. Ye., Tsaruk F. F., Skvortsov D. N. Analysis of the main operating conditions and dynamic loading of critical parts of the transmission of skidders..... 212
Isachenkov V. S., Ariko S. Ye., Simanovich V. A. On the question of choosing the parameters of the technological equipment of skidders..... 218
Shoshyn A. O. New technological solutions for standing skyline in waterlogged areas 224

WOODWORKING INDUSTRY 236

Kopylova T. I., Guzii S. G., Bazhelka I. K., Kanavalava A. A. Evaluation of the durability of water-dispersion lacquer VD AK11L when painting oak wood..... 236
Neuzorava A. B., Romanenko V. V. On the feasibility and prospects of using wooden sleepers in curvilinear sections 242
Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A., Shet'ko S. V., Ruchkina E. V. Design development of lightweight sports and running plastick ski..... 250
Ignatovich L. V., Tuleyko V. V., Chuikov A. S., Utgof S. S. Optimization of technological parametters thermo-chemical modification of soft deciduous wood rocks in order to obtain the maximum generalized criterion for assessing the quality of physical and mechanical properties..... 260
Rudak O. G. Study of the parameters of the initial wood heating technology in an unsaturated environment 268
Rudak O. G. Research of the processes of heat and mass transfer during heating of wood in an unsaturated environment 277
Fedosenko I. G. Evaluation of the possibility of using the bark of trees growing in the Republic of Belarus for the granulation..... 284
Leonovich O. K., Mazalo N. A. Research of the durability of wood impregnated with water-soluble and oily products various conditions services..... 290

ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX 298

Chernushevich G. A., Azovskaya N. O., Domnenkova A. V., Kiselev S. V. Impact analysis of the radioactive contamination of non-timber forest resources on the internal radiation of local people 298
Levkevich V. Ye., **Kasperov G. I.**, **Zyazyulya U. V.** Applicability of the methods for the assessment of emergency risks at quarry lakes..... 306
Pishchov M. N., Belsky S. Ye., Adel Abdel Wasset Rashid, Vergeichik A. V. Improving fatigue characteristics of structural and tool steels by surface hardening 313
Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Alifirovets G. V. Design features of the circular saw for wood cutting..... 320

Mashoripova T. A., Grishkevich A. A. Features of transformation of the cutting angle of the drilling tool depending on the position of its blade 327
Anikeenko A. F., Mashoripova T. A. Investigation of the influence of parameters of elastic elements of a new drilling tool design on the drilling depth of LDsTP 333
Klepatski I. K., Rapovets V. V. Mathematical model forecast change rounding radius cutting edge knife of chipper-canter machines 340
Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Siffness calculation of the claw curtains axes 345
Grishkevich A. A., Bolochko D. L. Study results definitions conditions for self-grounding of the wood cutting blade tool 350

Редакторы *Е. И. Гоман, Р. М. Рябая*
Компьютерная верстка *А. А. Селиванова, Д. С. Жих, Е. В. Ильченко*
Корректоры *Е. И. Гоман, Р. М. Рябая*

Подписано в печать 12.07.2021. Формат $60\times84^{1}/_{8}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 42,1. Уч.-изд. л. 45,1.
Тираж 100 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.