



ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 2 (210) 2018 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 лесохотничье хозяйство

Лесопромышленный комплекс.

Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность

Общеинженерные вопросы
лесопромышленного комплекса

Минск 2018

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 (210) 2018 год

Выходит два раза в год

Минск 2018

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

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

Редакционная коллегия журнала:

Дормешкин О. Б., доктор технических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Жарский И. М., кандидат химических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Кунтыш В. Б., 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;
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Долгова Т. А., кандидат физико-математических наук, доцент, Республика Беларусь;
Захарук Т., доктор педагогических наук, профессор, Республика Польша;
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;
Жантасов К. Т., доктор технических наук, профессор, Республика Казахстан;
Харша Ратнавира, доктор наук, профессор, Королевство Норвегия;
Рангелова Е. М., доктор педагогических наук, профессор, Республика Болгария;
Шкляр Бенцион, профессор, Государство Израиль;
Хассель Л. Г., доктор наук, профессор, Королевство Швеция;
Файгле В., доктор наук, профессор, Федеративная Республика Германия;
Флюрик Е. А., кандидат биологических наук, доцент (секретарь), Республика Беларусь.

Редакционная коллегия серии:

Кунтыш В. Б., доктор технических наук, профессор (главный редактор серии), Республика Беларусь;
Штукин С. С., доктор сельскохозяйственных 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;
Соловьева Т. В., доктор технических наук, профессор, 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;
Маркова И. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российская Федерация;
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Республика Финляндия;
Савевич К. Ф., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Сарнацкий В. В., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Тябера Альбинас, доктор наук, профессор, Литовская Республика;
Усенья 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., доктор технических наук, профессор, Латвийская Республика;
Балтрушайтис Антанас, кандидат технических наук, Литовская Республика;
Онегин В. И., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, Российская Федерация;
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) 226-14-32;

главного редактора серии – (+375 17) 327-87-30.

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»

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 (210) 2018

Published biannually

Minsk 2018

Publisher – educational institution “Belarusian State Technological University”

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

Editorial (Journal):

Dormeshkin O. B., DSc (Engineering), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;
Zharskiy I. M., PhD (Chemistry), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;
Kuntyshev V. B., 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;
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Dolgova T. A., PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Republic of Belarus;
Zakharuk T., DSc (Pedagogics), Professor, Republic of Poland;
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;
Barčík Štefan, DSc, Professor, Slovak Republic;
Zhantasov K. T., DSc (Engineering), Professor, Republic of Kazakhstan;
Harsha Ratnaweera, DSc, Professor, Kingdom of Norway;
Rangelova E. M., DSc (Pedagogics), Professor, Republic of Bulgaria;
Shklyar Benzion, Professor, State of Israel;
Hassel L. G., DSc, Professor, Kingdom of Sweden;
Faigle W., DSc, Professor, Federal Republic of Germany;
Flyurik E. A., PhD (Biology), Associate Professor (secretary), Republic of Belarus.

Editorial (Issue):

Kuntyshev V. B., DSc (Engineering), Professor (managing editor), Republic of Belarus;
Shtukin S. S., DSc (Agriculture), 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;
Solov’yeva T. V., DSc (Engineering), 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;
Markova I. A., DSc (Agriculture), 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;
Tebėra Albinas, DSc, 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;
Barčík Štefan, Professor, Slovak Republic;
Savel’yev A. G., DSc (Engineering), Professor, Republic of Latvia;
Baltrushaitis Antanas, PhD (Engineering), Republic of Lithuania;
Onegin V. I., DSc (Engineering), Professor, Honored Worker of Science and Engineering, Russian Federation;
Bashkurov 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) 226-14-32;

managing editor (+375 17) 327-87-30.

E-mail: root@belstu.by, <http://www.belstu.by>

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 630*527

Р. Р. Вицега¹, С. И. Минкевич²

¹Национальный лесотехнический университет Украины

²Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ ОПЫТА ВНЕДРЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕТА ЗАГОТОВЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ЕВРОПЕЙСКИХ СТРАНАХ

Обсуждается европейский опыт разработки и функционирования систем мониторинга движения заготовленной древесины (на примере Польши, Румынии, Австрии, Швеции, а также Украины). Информационная система государственных лесов в Польше (SILP) является программным комплексом, который служит бизнес-инструментом интеграции всех информационных потоков, включая учет, отчетность и контроль государственных лесов. В Румынии с целью контроля за движением древесины предложена бесплатная интегрированная информационная система. Система учета и контроля движения лесопродукции в Швеции поддерживается независимой ИТ-компанией, которая обеспечивает контроль учета торговых сделок с древесиной, учет данных измерений объемов древесины (информационная технология Skogsbrukets Datacentral). В Украине в 2013 г. независимой организацией разработана система электронного учета (ЭУД) древесины. На данном этапе система еще не внедрена на национальном уровне, используется в государственных лесах Госоагентства лесных ресурсов Украины. Требуется совершенствование ЭУД, в том числе на основе зарубежного опыта, также с учетом национальных особенностей организации лесного хозяйства. Полезным для Украины является подход, в соответствии с которым электронный учет древесины выступает ключевым, но в то же время он лишь один из элементов общей системы информационного обеспечения и поддержки управленческих решений.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы, учет лесопродукции, информационные системы.

R. R. Vitsega¹, S. I. Minkevich²

¹Ukrainian National Forestry University

²Belarusian State Technological University

ANALYSIS OF EXPERIENCE OF ELECTRONIC ACCOUNTING SYSTEMS FOR REGISTRATION OF HARVESTED WOOD VOLUME IN EUROPEAN COUNTRIES

The European experience in the development and operation of monitoring systems for the volume of logging and the movement of harvested wood is discussed (on the example of Poland, Romania, Austria, Sweden, and Ukraine). The State Forest Information System in Poland (SILP) is a software package that serves as a business tool for integrating all information flows, including the accounting, reporting and control of state forests. In Romania, for the purpose of monitoring the movement of round wood, an integrated information system is offered. The system of accounting and control of round wood in Sweden is supported by an independent IT company that monitors accounting for agreements with timber, records measurement data (Skogsbrukets Datacentral Information Technology). In Ukraine in 2013, an electronic accounting system (EAS) of round wood was developed. At this stage, the system has not yet been implemented at the national level; it is used in the forests of the State Forest Resources Agency of Ukraine. It is necessary to improve the EAS system, on the basis of foreign experience, also taking into account the national characteristics of the organization of forestry. A useful approach for Ukraine is that electronic accounting of wood is key, but at the same time it shall be only one of the elements of a common information support system and support for management decisions.

Key words: round wood, accounting systems for round wood, information systems.

Введение. Лесная отрасль имеет важное значение в экономике Украины. Общая площадь лесов страны составляет около 10 млн га, а общий запас лесов оценивается в 2,1 млрд м³. Ежегодный объем лесозаготовок составляет около 16 млн м³ древесины [1]. Однако Украина отнесена к малолесным государствам. Поэтому на первый план выступает вопрос рационального использования лесных ресурсов.

Сегодня широкое внедрение в практику лесного хозяйства получили информационные технологии, которые дают возможность на качественно новом уровне осуществлять сбор, систематизацию, сохранение и обработку картографической и атрибутивной информации. Это способствует внедрению современной системы учета и контроля движения древесины или, по крайней мере, усовершенствованию существующей системы, которая является слишком громоздкой и не обеспечивает своевременный контроль и оперативность в предоставлении / получении информации (как правило, информация передается бумажными носителями в ручном режиме) [2, 3].

Важно отметить, что усовершенствование системы учета древесины является основным направлением в предупреждении ее незаконной заготовки – явления, которое приобрело в последнее время большой резонанс в масштабах целой страны [4]. Кроме этого, усиление контроля за движением древесины на стадиях от заготовки к реализации требуют международные обязательства, а опыт передовых лесных стран подчеркивает необходимость создания и внедрения в производство такой системы [4–8].

В рамках программы «Совершенствование правоприменения и управления в лесном секторе (ФЛЕГ) в странах Европейской политики добрососедства и в России» экспертами отмечен вопрос необходимости дальнейшего совершенствования системы учета запасов древесины на корню и заготовленной лесопроductии [7].

Цель исследования – анализ европейского опыта внедрения системы электронного учета заготовленной древесины; изучение перспектив и направлений совершенствования разработанной системы электронного учета в Украине.

Основная часть. Систему мониторинга объемов лесозаготовок и движения заготовленной древесины можно рассматривать с точки зрения двух подходов. Первый вариант предусматривает контроль передвижения древесины, включая все аспекты хозяйственного и бухгалтерского учета и контроля в процессе ее трансфера от производителя к потребителю (т. н.

«track»), т. е. с леса к потребителю. Вторым подходом предусматривается возможность проследить предысторию древесины (конечного продукта), включая аспекты его происхождения (т. н. «trace»), т. е. путь от потребителя к первоначальному производителю (обратный путь). Таким образом, система учета дает возможность идентифицировать партии лесопроductии в базе данных (т. е. информационное отслеживание продукции); устанавливать местопроисхождение продукции на разных уровнях (страна, регион, лесовладелец, отдельный участок леса); осуществлять контроль движения продукции (прямой и обратный путь).

В целом все имеющиеся системы учета (мониторинга) древесины можно систематизировать в следующие группы: 1) государственная обязательная (как часть лесной политики государства) – для контроля за собственными лесными ресурсами, которые в большей части сосредоточены в государственных лесных предприятиях (учреждениях); 2) частная добровольная – разрабатывается и внедряется социально и экологически ответственными лесопромышленными компаниями; 3) независимая добровольная – внедряется международными или национальными схемами лесной сертификации или органами сертификации; 4) комбинированная – включает в себя отдельные аспекты указанных выше категорий [2, 3, 8–10]. В пределах каждой системы могут использоваться различные методы непосредственного обмера, как, например, индивидуальный метод (отдельные сортименты поштучно), групповой учет (партия / штабель) либо другие методы учета [7, 11].

Обзор систем учета и контроля движения древесины в некоторых европейских странах. Внедрение информационной системы в Польше начато с 1 января 1997 г. Информационная система государственных лесов в Польше (SILP) является программным комплексом, который служит бизнес-инструментом интеграции всех информационных потоков, включая учет, отчетность и контроль государственных лесов. На данное время информационная система государственных лесов в Польше обслуживает около 15 тыс. пользователей, в том числе 5,5 тыс. – в лесничествах; 430 – в надлесничествах (лесхозах); 17 – в региональных дирекциях; остальные – в других подразделениях. В структуру информационной системы государственных лесов Польши входят интегрированные между собой подсистемы: LAS – хозяйственная деятельность; маркетинг – контроль за оборотом древесины; отчеты – система, которая позволяет использовать информацию, содер-

жающуюся в подсистеме LAS в виде отчетов; ACER – планирование заготовки древесины, формирование плана реализации; DLUZNIK – планирование и поступление от реализации товаров, работ и услуг; PLATNIK – модуль, который отображает состояние уплаты налогов, социального взноса. Подсистемы интегрированы между собой таким образом: как только первичный документ зарегистрирован в одной из них, необходимая информация из него автоматически отображается во всех других взаимосвязанных документах и всех без исключения подсистемах и является доступной для использования [7, 13]. Учет древесины проводится в государственных лесах и лесах других пользователей в местах лесозаготовок одновременно с их проведением. Специальным молотком на дерево наносят графический знак черного цвета («LP» – для государственных лесов или другой – для лесов иных пользователей). Кроме того, прибавляется бирка красного цвета с текущим номером. В лесах иных пользователей бирки могут иметь другой цвет [6, 7, 12, 13]. Учет заготовленной древесины 3-этапный: первичный учет заготовленной древесины; учет древесины, которая трелюется или подвозится к верхнему либо промежуточному складу; учет древесины, которая вывозится (реализуется). Таким образом, система контроля движения является составной частью общего программно-информационного комплекса, который обеспечивает документооборот в лесном хозяйстве, включая учет, контроль и отчетность всей хозяйственной и экономической деятельности в государственных лесах.

Информационная система предусматривает не только маркировку древесины с целью осуществления электронного учета, но и обеспечивает подтверждение ее законности происхождения всеми постоянными лесопользователями. Таким образом, лесопользователи уполномочиваются государственными органами власти осуществлять ряд учетных и контрольных функций.

Последующее отслеживание движения древесины по цепи снабжения отсутствует. Таким образом, система ограничивается контролем движения древесины на этапе передачи ее от производителя (надлесничество) к потребителю (деревообрабатывающее предприятие). Реализация SILP оказала значительное влияние на организацию ведения лесного хозяйства и всю лесную отрасль в целом.

Полезным для Украины считается подход, в соответствии с которым электронный учет древесины является ключевым, но в то же время лишь одним из элементов общей системы ин-

формационного обеспечения и поддержки управленческих решений. Соответственно, стоит рассмотреть возможность трансформации единой государственной системы учета древесины в информационную систему лесного сектора, которая может включать в себя такие подсистемы, как подготовка лесосеки и материально-денежная оценка лесосечного фонда, картографическое обеспечение лесохозяйственной деятельности, реализация древесины на электронных торгах и т. п.

С целью предотвращения незаконных рубок и нелегального оборота древесины в Румынии внедрен контроль движения древесины путем обязательного использования бесплатной интегрированной информационной системы SUMAL [12, 14]. Информационная система SUMAL является инструментом контроля движения древесины от места ее заготовки к потребителю (перерабатывающее предприятие, склад посредника, место передачи товара импортеру и т. п.) в режиме реального времени благодаря использованию уникальной системы нумерации документов и работы с единственной государственной базой данных. Система в тестовом режиме работала с 2008 г., а полноценно функционирует с 2015 г. [12, 14]. Пользователями системы являются лесохозяйственные и лесозаготовительные предприятия, лесовладельцы, деревообрабатывающие компании, посреднические структуры, экспортеры, трейдеры, контролирующие органы власти, органы управления лесным хозяйством. Операции, связанные с заготовкой, движением и обработкой древесины, фиксируются в системе на протяжении установленных законодательством сроков путем внесения информации в единственный сервер Министерства сельского хозяйства и развития сельских районов Румынии (как самими работниками лесного хозяйства при лесозаготовке, так и субъектами предпринимательской деятельности при вывозе лесопродукции). Древесина, которая не внесена в систему, считается незаконной и может быть изъята. Для обеспечения оперативного внесения информации пользователями разработаны специализированные дополнения и разные алгоритмы работы с системой для каждого вида деятельности. При перевозке древесины используется мобильное дополнение «Wood Tracking», которое является частью системы SUMAL, его можно бесплатно загрузить на смартфон или планшет на базе операционных систем Windows или Android [12, 14]. Преимуществом системы является возможность контроля перевозки древесины в онлайн-режиме. Вместе с тем в отличие от польской

системы SILP, которая предусматривает идентификацию каждого сортимента, единицей контроля системы SUMAL является грузовая партия лесопродукции.

Для Украины интересным представляется использование подобной системы для обеспечения требований статьи 294 Соглашения об Ассоциации (ЕС и Украина), Закона Украины «Об особенностях государственной регуляции деятельности субъектов предпринимательской деятельности, связанной с реализацией и экспортом лесоматериалов» – в части подтверждения законности происхождения лесопродукции по всем цепочкам снабжения – от производителя к потребителю [12]. В контексте усовершенствования единственной государственной системы электронного учета древесины стоит рассмотреть возможность ее дополнения материально-денежной оценкой и автоматической выпиской лесорубного билета.

Лесная федеральная компания Австрии для своих логистических решений использует программное обеспечение Felixtools. Специализированное программное обеспечение, установленное на планшете водителя и ПК оператора, позволяет систематизировать процесс транспортировки древесины путем разделения его на отдельные этапы – от планирования маршрута к отгрузке продукции потребителю. Информация отправляется на сервер через сеть интернета и является доступной для пересмотра сразу после введения данных на каждом этапе. Среди недостатков системы необходимо отметить использование лишь электронного документооборота, который предусматривает постоянную синхронизацию через сеть интернета. В случае отсутствия связи осложняется контроль и подтверждение законности происхождения перевозимой древесины.

Система учета и контроля движения лесопродукции в Швеции поддерживается независимой ИТ-компанией, которая обеспечивает контроль учета соглашений с древесиной, учет данных измерений и мониторинг движения лесопродукции. При этом используется современная информационная технология Skogsbrukets Datacentral (SDC) [15]. Такая система представляет собой централизованное хранилище информации о соглашениях между владельцами древесины, ее покупателями, перевозчиками, лесопильными заводами и независимыми организациями, которые осуществляют обмер и определение качества древесины.

Базовым компонентом системы является подсистема учета древесины VIOL, которая работает в онлайн-режиме через интернет. Система используется для сбора, накопления, об-

работки и получения информации об операциях с древесиной в Швеции. Центральное место в информационной системе учета древесины занимает сервис «Заказ на древесину». С его помощью формируется документ, предназначенный для идентификации происхождения древесины и слежки пути ее движения с леса до деревообрабатывающего предприятия. Такой документ имеет уникальный идентификационный номер для каждой бизнес-транзакции (операции покупки-продажи древесины) [15]. Система учета позволяет учитывать всю цепочку поставки, даже если она включает промежуточных покупателей древесины.

Внедрение и функционирование системы электронного учета древесины в Украине. На этапе подготовки системы ЭУД были подготовлены соответствующие нормативно-документы, регламентирующие некоторые вопросы ее функционирования, в частности: 1) распоряжение Кабинета Министров Украины 1090-р от 16.09.2009 г. «Об одобрении Концепции создания единой государственной системы электронного учета древесины»; 2) приказ № 159 от 27.05.2010 г. «Об активации работы по созданию единой государственной системы электронного учета древесины»; 3) приказ № 109-ОСМ от 8.11.2012 г. «О мерах по внедрению элементов единой государственной системы электронного учета древесины».

Госагентство лесных ресурсов Украины (Минлесхоз был реорганизован сначала в Госкомлесхоз (1997 г.), а со временем – в Госагентство лесных ресурсов (2011 г.)) на основании открытого тендера определило компанию-разработчика, внедрения и технической поддержки системы ЭУД. В 2013 г. компания «Latschbacher Украина» и дочерняя компания WinforstPro Ukraine разработали и внедрили систему в 250 лесхозах (на данный момент – в 273), подчиненных Гослесагентству [16]. Главным оператором государственной системы ЭУД выступает ГП «Лесохозийственный инновационно-аналитический центр» [17]. Система ЭУД обеспечивает взаимосвязь (средства GSM) между разными звеньями, затронутыми в процессе лесозаготовок и контроля перемещения древесины в любом виде с помощью единой информационной платформы (центральный сервер).

Основными характеристиками системы ЭУД являются: 1) онлайн-мониторинг и контроль использования лесных ресурсов; 2) формирование единого реестра учета древесины; 3) анализ и сравнение информационных данных относительно качества и объема древесины на всех этапах лесозаготовки; 4) переход на электрон-

ный документооборот, интеграция информационных потоков между системой ЭУД и бухгалтерскими программами; 5) подтверждение легальности заготовки древесины, борьба с ее нелегальным теневым оборотом; 6) повышение эффективности управленческих решений; 7) контроль движения древесины от заготовки до таможенного контроля [17].

Для этого в системе функционирует ряд отдельных модулей: регистрация, инвентаризация, приемка, перемещение, вывозка, реализация и др. [18].

Внедрение системы ЭУД в Украине стало возможным при полной поддержке и сотрудничестве компаний «Latschbacher Украина», Latschbacher AG, Timber&Equipment GMBH, которые обеспечили не только разработку программного обеспечения для украинских лесхозов, но и разработку аппаратной части центрального уровня системы. На сегодняшний день «Latschbacher Украина» на базе Winforst-Pro Ukraine осуществляет комплекс работ по разработке и внедрению инновационных решений, которые получили высокую оценку в профильных министерствах и является частью экономических реформ Украины. Компания WinforstPro Ukraine реализует техническую поддержку своих объектов в режиме онлайн, что позволяет осуществлять техническую поддержку в режиме non-stop; принимать звонки непосредственно из лесосеки; исправлять ошибки в режиме онлайн по телефону; обеспечивать мониторинг документооборота по всей системе, хранение и совместимость во время обмена данным с системой 1С, контроль диапазона бирок от завода-производителя в лесхозах; отслеживать поддельные бирки; обслуживать центральный уровень системы (центральный сервер), причем как его аппаратную часть, так и программную; обеспечивать сервисное обслуживание и ремонт КПК и принтеров, при этом на время ремонта лесхозу предоставляется временный КПК либо принтер, что позволяет проводить все работы в обычном режиме; обеспечивать постгарантийное обслуживание и поддержку системы в должном рабочем состоянии, также ремонт КПК и принтеров.

С учетом указанных выше возможностей, современного программного комплекса, технических средств (комплекты КПК, клейма, бирки, термопринтеры и др.) и профессионально обученного персонала внедрение системы ЭУД должно обеспечить [16–18]: создание единой государственной электронной базы данных для всех лесопользователей; усиление контроля за движением древесины на стадиях от заготовки (отвод в рубку) до ее реализации;

бесперебойный доступ к информации на любой стадии по результатам качественной и количественной оценки древесины, объемах ее заготовки и реализации, поступлениях средств; повышение ответственности за качество выполнения цикла лесозаготовительных работ (начиная от отбора деревьев на лесосеке); исключить реализацию незаконно заготовленной древесины.

Из недостатков на данном этапе можно отметить следующее: к сожалению, система ЭУД полноценно на национальном уровне не работает, что обусловлено целым набором факторов. Среди наиболее важных можно выделить отсутствие на законодательном уровне «Положения о единой государственной системе электронного учета древесины для всех лесопользователей» (только предприятия Гослесагентства используют систему ЭУД (около 73% всего объема)), низкая квалификация кадров, отсутствие 100%-ного покрытия GSM-связи, ограничение доступа к системе представителей контролирующих органов, таможни, независимой общественности, журналистов.

Также можно выделить некоторые финансовые и технические проблемы, в частности: 1) достаточно большая стоимость инструментов и бирок, при этом часть оборудования и бирок продавались по завышенным ценам; 2) наличие т. н. скрытых платежей по обслуживанию системы (абонплата и др.); 3) система не в полной мере гибкая для оперативного внесения изменений ввиду наличия ошибок (например, ввиду человеческого фактора возможны «механические» ошибки ввода и сохранения данных; для исправления ошибок необходимо информацию об ошибке передать на уровень лесхоза (а может даже на уровень пользователя), отозвать с сервера документацию, исправить ее и повторно ввести); 4) система работает по варианту «приемка – вывозка» или «реализация» (целесообразно формировать документы в момент реализации; при внутреннем перемещении на нижнем складе могут измениться сортность и стоимость); 5) отсутствие синхронизации с картографическими материалами, данными GPS и лесорубным билетом; 6) проблемы с распечаткой ТТН в полевых условиях (питание при низких температурах воздуха, работа в дождь, мокрый снег).

Дальнейшее совершенствование системы ЭУД возможно при устранении указанных проблем и расширении ее спектра услуг, в частности для решения логистических задач, таможенного контроля и др. [17–18]. Каждый из этих элементов при правильном подходе улучшит работу системы ЭУД (см. таблицу).

Элементы совершенствования системы ЭУД

Главные аспекты	Ожидаемый результат
Законодательное обеспечение	Принятие постановления КМУ – законодательная основа ЭУД в Украине, полномочия и ответственность. Внедрение ЭУД всеми лесопользователями
Уменьшение финансовых издержек	Разработка ПО под платформу Android – использование смартфонов; возможность группового (а не индивидуального) учета (дрова, низкосортные материалы)
Учет отмеченных в рубку деревьев	Создание модуля по учету деревьев непосредственно на лесосеках, автоматический расчет материально-денежной оценки, товарной и сортиментной структуры
Объединение баз данных	Создание защищенного WEB-сервера с набором реестра данных (договоров, сертификатов, билетов, ТТН, ...)
Доступ заинтересованных сторон	Создание платформы с возможностью использования электронного документооборота, доступ к информации общественности, журналистов, контролирующих органов, милиции, таможенников

Заключение. Исходя из вышеуказанного можно сделать вывод, что система электронного учета древесины является весомым инструментом борьбы с незаконными рубками и незаконным оборотом древесины, она не должна внедряться и применяться только на предприятиях Госагентства лесных ресурсов Украины, а быть в использовании всеми госорганами управления лесами, необходимо применение всеми лесопользователями; система должна обеспечивать менеджмент, маркетинг и решение организационных и управленческих вопросов в лесном секторе. Данная система должна учитывать масштабы финансовых расходов и экономическое положение лесохозяйственных предприятий (на которые ложится основная финансовая нагрузка). Осо-

бое внимание следует уделить изучению вопроса увеличения себестоимости 1 м³ древесины ввиду внедрения системы электронного учета (которая не может составлять более 0,5% от цены реализации). Необходимо также учесть наличие инфраструктуры, вопросы подготовки специалистов. В противном случае система ЭУД будет нежизнеспособной и нецелесообразной для внедрения на национальном уровне.

Следует отметить, что в Украине видны положительные тенденции по отношению усовершенствования системы ЭУД. Для решения стратегически важных проблемных вопросов нужны две основополагающие составляющие: политическая воля руководства и профессиональный подход.

Литература

1. Загальна характеристика лісів України [Електронний ресурс] / Державне агентство лісових ресурсів України. Україна. Київ, 2018. Режим доступу: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921&cat_id=32867. Дата доступу: 01.03.2018.
2. Вицега Р. Р. Інформаційна система обліку руху деревини: методологічний аспект // Еколого-економічні та соціальні проблеми, зумовлені неефективним і несталим веденням лісового господарства та незаконними лісозаготівлями в Україні: матер. Міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 2–3 грудня 2010 р. / Товариство «Зелений Хрест», Ліга-Прес.; за ред. І. Соловія, М. Чернявського, Я. Геніка. Львів, 2011. С. 176–179.
3. Вицега Р. Р. Стан та перспективи запровадження електронного обліку деревини в Україні // Тезиси 61-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2010 р. / РВВ НЛТУ України; редкол.: С. І. Миклуш (відп. за ред.) та ін. Львів, 2011. С. 10–13.
4. Проблеми доступу місцевого населення до лісових ресурсів та незаконні рубки в лісах карпат і Західного Полісся: монографія / за ред. М. В. Чернявського, І. П. Соловія, Я. В. Геніка: Львів: Товариство «Зелений Хрест», Ліга-Прес., 2011. 256 с.
5. Paschalis-Jakubowicz, P. Lasy i lesnictwo swiata. Warszawa: SILP, 2015. 553 s.
6. Минкевич С. И., Буй А. А., Машковский В. П. Зарубежный опыт учета заготовленной древесины // Сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. 2012. Вып. 72: Проблемы лесоведения и лесоводства. С. 330–336.
7. Буй А. А., Машковский В. П., Минкевич С. И. Сравнительный анализ существующей системы учета древесины в Беларуси и за рубежом; разработка предложений по совершенствованию системы учета древесины на основе международного опыта: отчет группы экспертов по мероприятию 2.3. Странового плана ФЛЭГ Республики Беларусь. Минск: БГТУ, 2011. 93 с.

8. Минкевич С. И., Буй А. А. Анализ системы учета и контроля движения древесины на ее соответствие нормам Европейского регламента // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хозяйство. С. 36–39.
9. Минкевич С. И., Севрук П. В. Международные процессы сертификации и «зеленые инновации» в лесном хозяйстве Беларуси // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. трудов по матер. Междунар. заоч. науч.-практ. конф. «I-й Евразийский конгресс зеленых инноваций: «iFOREST», 2015 г. / МОиН РФ [и др.]; редкол.: В. М. Бугаков [и др.]. № 4, ч. 2 (15-2). Воронеж, ВГЛТУ, 2015. С. 284–287.
10. Минкевич С. И., Севрук П. В., Пархомчик Д. И. Анализ основных результатов оценки лесопользования в Республике Беларусь по схеме Лесного Попечительского Совета // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. ИЛ НАН Беларуси. Вып. 77. 2017. С. 322–332.
11. Минкевич С. И., Севрук П. В., Буй А. А. Оценка поштучных методов таксации круглых лесоматериалов // Труды БГТУ. 2016. № 1: Лесное хозяйство. С. 19–23.
12. Кравець П. В., Лазебник М. М., Хань Є. Ю. Закордонний досвід налагодження систем контролю руху і стеження деревини [Електронний ресурс]. 2018. Режим доступу: <http://www.enpifleg.org/ru/documents>. Дата доступу: 02.03.2018.
13. Oleński J., Olejniczak Z., Nowak J. S. Informatyka Strategie i zarządzanie wiedza // Polskie Towarzystwo Informatyczne – Oddział Górnooesleski. Katowice, 2005. S. 56.
14. Iordache E., Derczeni R. Communication problems at implementing information systems in the management of Romanian state forests [Електронний ресурс]. 2018. Режим доступу: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/vouliagmeni/ACCMM/ACCMM2-38.pdf>. Дата доступу 04.03.2018.
15. SDC [Електронний ресурс] / SDC. Sundsvall, 2018. Режим доступу: <http://www.sdc.se/default.asp?id=1007&ptid>. Дата доступу: 09.03.2018.
16. Latschbacher [Електронний ресурс] / Компанія «Latschbacher Україна». Україна. Київ, 2018. Режим доступу: <http://latschbacher.com.ua/page/companu>. Дата доступу: 07.03.2018.
17. Державне підприємство «Лісогосподарський Інноваційно-Аналітичний Центр» [Електронний ресурс] / Державне агентство лісових ресурсів України. Україна. Київ, 2018. Режим доступу: <http://www.ukrforest.com>. Дата доступу: 09.03.2018.
18. Практичний посібник по користуванню засобами електронного обліку деревини. Київ: Державне агентство лісових ресурсів України, 2013. 51 с.

References

1. *Zagal'na kharakteristika lisiv Ukrainy* [General characteristics of forests of Ukraine]. [Electronic resource]. Available at: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921&cat_id=32867 (accessed 01.03.2018).
2. Vitsega R. R. [Information system of wood movement accounting: methodological aspect]. *Materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf. ("Ekologo-ekonomichny ta sotsial'ny problemy, zumovleni neefektivnym i nestalym vedennyam lisovogo gospodarstva ta nezakonnymy lisozagotivlyamy v Ukraini")* [Proceeding of the International science-practice conf ("Ecological-economic and social problems caused by inefficient and unsustainable forest management and illegal logging in Ukraine")]. Lviv. 2011, pp. 176–179.
3. Vitsega R. R. [The state and prospects of implementation of electronic accounting of wood in Ukraine]. *Tezisy 61-y naukovykh konferentsii profesors'ko-vykladats'kogo skladu, naukovykh pratsivnykiv, doktorantiv ta aspirantiv za pidsumkamy naukovoy diyal'nosti u 2010 r.* ["Theses of the 61st scientific and technical conference of the faculty, scientists, doctoral students and postgraduate students based on the results of scientific activity in 2010"]. Lviv, 2011, pp. 10–13.
4. Chernyavsky M. V., Soloviy I. P., Genik Ya. V. *Problemy dostupu mistsevogo naseleння do lisovykh resursiv ta nezakonnі rubky v lisakh Karpat i Zakhidnogo Polissya* [Problems of access of local population to forest resources and illegal logging in the forests of Carpathians and Western Polissya]. Lviv, Green Cross: League-Press Publ., 2011. 256 p.
5. Paschalis-Jakubowicz P. *Lasy i lesnictwo swiata* [Forests and Lesser World]. Warszawa, SLIP Publ., 2015. 553 s.
6. Minkevich S. I., Buy A. A., Mashkovskiy V. P. Foreign experience in accounting for harvested wood. *Sb. nauch. trudov In-ta lesa NAN Belarusi* [Proceeding of Research Papers of Institute of Forests of the National Academy of Sciences of Belarus]. 2012, issue 72: Problems of Forestry and Forestry, pp. 330–336 (In Russian).
7. Buy A. A., Mashkovskiy V. P., Minkevich S. I. *Sravnitel'nyy analiz sushchestvuyushchey sistemy ucheta drevesiny v Belarusi i za rubezhom; razrabotka predlozheniy po sovershenstvovaniyu sistemy*

ucheta drevesiny na osnove mezhdunarodnogo opyta [Comparative analysis of the existing system of wood accounting in Belarus and abroad; development of proposals for improvement of the system of wood accounting on the basis of international experience]. Minsk, BGTU Publ., 2011. 93 p.

8. Minkevich S. I., Buy A. A. Analysis of the system of accounting and control of wood movement for its conformity to the norms of the European regulation. *Trudy BGTU* [Proceedings BSTU]. 2013, no. 1: Forestry, pp. 36–39 (In Russian).

9. Minkevich S. I., Sevruc P. V. [International certification processes and “green innovations” in the forestry sector of Belarus]. *Sbornik nauch. trudov po materialam Mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf. (“I-y Evraziyskiy kongress zelenykh innovatsiy “iForest”)* [Proceeding of the scientific papers international behind scientific practice. conf. (“The 1st Eurasian Congress of Green Innovations: iFOREST”)]. Voronezh, 2015, pp. 284–287 (In Russian).

10. Minkevich S. I., Sevruc P. V., Parkhomchik D. I. Analysis of the main results of forest management assessment in the Republic of Belarus according to the scheme of the Forest Stewardship Council. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of Forestry: Proceeding of Research Papers]. 2017, issue 77, pp. 322–332 (In Russian).

11. Minkevich S. I., Sevruc P. V., Buy A. A. Analysis of piece by piece methods of round wood measurements and volume estimation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. 2016, no. 1: Forestry, pp. 19–23 (In Russian).

12. Kravets P. V., Lazebnik M. M., Khan Ye. Y. *Zakordonnyy dosvid nalagodzhennya system kontrolyu rukhu i stezhennya derevyny* [Foreign experience in setting up control systems for motion and tracking of wood]. [Electronic resource]. Available at: <http://www.enpi-fleg.org/ru/documents> (accessed 02.03.2018).

13. Oleński J., Olejniczak Z., Nowak J. S. *Informatyka Strategie i zarzadzanie wiedza. Polskie Towarzystwo Informatyczne – oddzial Górnooleski*. Katowice, 2005. S. 56.

14. Iordache E., Derczeni R. Communication problems in the implementation of information systems in the management of Romanian state forests. [Electronic resource]. Available at: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/vouliagmeni/ACMM/ACMM2-38.pdf> (accessed 04/03/2018).

15. SDC. [Electronic resource]. Available at: <http://www.sdc.se/default.asp?id=1007&ptid> (accessed 09.03.2018).

16. Latschbacher. [Electronic resource] Available at: <http://latschbacher.com.ua/page/company> (accessed 07.03.2018).

17. State Enterprise “Forest Enterprise Innovation and Analytical Center”. [Electronic resource]. Available at: <http://www.ukrforest.com> (accessed 09.03.2018).

18. *Praktichnyy posibnik po korystuvannnyu zasobami elektronnoho obliku derevyny* [Practical manual on the use of electronic accounting of wood]. Kyiv, Derzhavne agenstvo lisovykh resursiv Ukrainy Publ., 2013. 51 p.

Информация об авторах

Вицега Руслан Романович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства и лесной таксации. Национальный лесотехнический университет Украины (79057, г. Львов, ул. Генерала Чупринки, 103, Украина). E-mail: vitseha@ukr.net

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

Information about the authors

Vitsega Ruslan Romanovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory and Forest Measurements. National Forestry University of Ukraine (103, Generala Chuprynki str., 79057, Lviv, Ukraine). E-mail: vitseha@ukr.net

Minkevich Sergey Ivanovich – 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

Поступила 31.03.2018

УДК 630*61

В. П. Зорин

Белорусский государственный технологический университет

**МОДЕЛЬНЫЕ ЛЕСА В БЕЛАРУСИ:
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

В статье рассматриваются вопросы, связанные с озабоченностью международных организаций применением мер для защиты суходольных экосистем, в частности лесных биогеоценозов, анализ состояния которых позволяет оценить качество окружающей среды и условий местопрорастания. С целью привлечения общественности к процессам принятия решения по вопросам, касающимся окружающей среды (Орхусская конвенция), повышения осведомленности о процессах совершенствования национальной лесной политики и системы лесных отношений в Беларуси (в системе Минлесхоза) создана сеть «Модельных лесов». Представлены обоснования необходимости их создания – цели и задачи функционирования. В решении комплекса всех проблем, связанных с состоянием лесных экосистем, главное исследовать, знать и контролировать пределы допустимого вмешательства в природные процессы, при которых лесной биогеоценоз будет эффективно выполнять геохимические и экологические функции. На территории модельных лесов общей площадью 72 тыс. га, расположенных в трех геоботанических подзонах Беларуси, модельные леса будут использованы как полигоны для организации системного наблюдения за уровнем техногенного загрязнения, что позволит создать новый механизм оценки состояния «здоровья» древостоев. Сертификация устойчивого управления в перспективе должна проводиться по этому показателю. Модельные леса рассматриваются как научно-практическая платформа для системного наблюдения за состоянием лесов посредством анализа динамики их физиологического состояния, как действующая модель устойчивого управления лесами на основе добровольного партнерства по принципам многоцелевого неисточительного лесопользования, экологизированного управления и повышения уровня жизни населения.

Ключевые слова: лес, модельные леса, устойчивость, общественность, конвенция, биоразнообразие, ландшафт, элемент леса, биохимия, сертификация, партнерство, сотрудничество, экология.

V. P. Zorin

Belarusian State Technological University

**MODEL FORESTS IN BELARUS:
OBJECTIVES AND TASKS OF THEIR FUNCTIONING**

The article deals with the issues related to the concern of International organizations on the application of measures for protection the sukhodolnykh of ecosystems, in particular forest biogeocenoses, the analysis of which allows assessing the quality of the environment and the conditions of the site. In order to involve the public in decision-making processes related to the environment (Aarhus Convention), raising awareness of the public and local people about the processes of improving the national forest policy and the system of forest relations – a network of Model Forests has been created in the system of the Ministry of Forestry. The reasons for the necessity of their creation are presented: the goals and tasks of their functioning. In solving a complex of all problems related to the state of forest ecosystems, it is essential to investigate, know and control the limits of permissible interference in natural processes in which forest biogeocenosis will effectively perform geochemical and ecological functions. On the territory of model forests with a total area of 72 000 hectares located in three geobotanical subareas of Belarus Model forests will be used as landfills to organize systematic monitoring of the level of man-made pollution that will create a new mechanism for assessing the state of “health” of stands. Certification of sustainable management in the future should be carried out on this indicator. Model forests are considered as a scientific and practical platform for systemic monitoring of the state of forest by means of analyzing the dynamics of their physiological state. Model forest is considered as the current model of sustainable forest management based on voluntary partnership on the principles of multi-purpose non-exhaustive forest management, ecologized management and improving the living standards of the local population.

Key words: forest, model forests, sustainability, public, convention, biodiversity, landscape, element of forest, biochemistry, certification, partnership, cooperation, ecology.

Введение. Осложнение экологической обстановки на планете вызывает обоснованную озабоченность Международных организаций по

принятию мер для защиты экосистемы суши и содействия их рациональному использованию, т. е. устойчивому управлению лесами [1].

Леса занимают 30% поверхности суши Земли и служат источником жизни. Лесные биогеоценозы имеют преимущество по контролю над изменением климата и способствуют сохранению биоразнообразия.

Беларусь является полноправной страной, подписавшей одиннадцать природоохранных конвенций и протоколов, регулирующих систему действий и мер по сохранению определенных компонентов окружающей среды:

- Конвенция ООН о биологическом разнообразии;

- Рамочная конвенция ООН об изменении климата;

- Конвенция о трансграничном изменении воздуха на большие расстояния;

- Конвенция о доступе к информации, участию общественности в процессе принятия решений по вопросам, касающимся окружающей среды (Орхусская конвенция), Указ Президента Беларуси № 726 от 14.11.1999 г.

В Беларуси механизмом реализации конвенций и «Повестки дня на XXI век», определенных ООН по окружающей среде и развитию, являются:

- Национальная стратегия социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года, разработанная в соответствии с Законом Республики Беларусь «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Республики Беларусь»;

- Лесной кодекс в части ст. 97 (Мониторинг лесов);

- Государственная программа «Белорусский лес» на 2016–2020 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь 18.03.2016 № 215 в части «Задача 1 подпрограммы 1 – оптимизация направлений мониторинга лесов на участках лесного фонда, на которых динамика изменения состояния лесов под воздействием внешних факторов более значительная»;

- Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 год (п. 22.15, 22.16);

- повышение осведомленности общественности и местных жителей о процессах совершенствования национальной лесной политики и системы лесных отношений, выработке и реализации управленческих решений с учетом перспективных задач социально-экономического развития страны, ресурсного средообразующего и природоохранного потенциала лесов, традиций, законных прав и интересов граждан страны, а также обязательств государства, вытекающих из международных соглашений;

- укрепление международного сотрудничества – в области управления лесами и ведение лесного хозяйства, развитие сотрудничества по охране лесов от пожаров и незаконных рубок, кризисных ситуаций и сохранению биологического разнообразия [2].

С целью реализации вышеперечисленных актов, а именно «Конвенции о доступе к информации», участия общественности в процессе обсуждения проблем, касающихся окружающей среды, в Беларуси создана сеть «Модельные леса» в системе Минлесхоза Беларуси.

Основной причиной зарождения международного движения по созданию модельных лесов стали такие проблемы, как истощение доступных лесных ресурсов, сохранение биоразнообразия, устаревшие методы и технологии лесопользования, лесовосстановления, разработка критериев устойчивого управления лесами, международная система сертификации устойчивого управления лесами и использование лесопродукции.

Термин «модельный лес» впервые был использован в 1991 г. в связи с инновационной программой правительства Канады, которая позволила обеспечить широкую информированность и прозрачное сотрудничество в области функционирования и использования лесных экосистем многих заинтересованных сторон – владельцев лесов, лесозаготовителей, государственных органов, муниципалитетов, ученых различных экологических и социальных учреждений, общественных экологических организаций [3, 4].

Модельные леса рассматриваются как научно-практическая платформа для системного наблюдения за состоянием лесов и анализа их динамики в результате воздействия антропогенных и техногенных факторов [3].

Модельный лес – это не природоохранная территория, как заповедник или национальный парк, т. е. не особая территория со специальным органом управления и особым режимом хозяйствования. Модельный лес не имеет ничего общего с опытно-показательными лесохозяйственными учреждениями. Он не обладает юридическими полномочиями в отношении территории и заявленная каждым модельным лесом территория – это всего лишь область, на которую распространяется план действий модельного леса. Такая территория может включать не только лесные массивы, но и охраняемые территории, водные объекты, сельхозугодия, населенные пункты.

Модельный лес – это форум, предназначенный для решения всего круга экологических проблем, связанных с лесом на данной территории. Полученный опыт исследований и на-

блюдений может распространяться за его пределами, в регионах со сходными эколого-климатическими условиями в ходе проведения международных семинаров по обмену опытом деятельности лесоводов [5, 6].

Основная часть. В рамках программы международного сотрудничества по мониторингу и оценке влияния воздушного загрязнения на леса, а также в силу своего географического положения Беларусь принимает участие в международном проекте «Балтийский ландшафт – Неман», основные положения которого – создание мониторинга растительности такого уровня, который позволяет обеспечить долговременное многоплановое решение вопросов состояния лесных ресурсов, рационального использования и улучшения окружающей среды с привлечением широкого круга заинтересованных сторон: производственной, научной, общественной, образовательной и социально-экономической.

В решении данных проблем самое важное – исследовать, знать и контролировать пределы допустимого вмешательства в природные процессы, при которых природная среда (лесной биогеоценоз) будет эффективно выполнять геохимические и экологические функции [5].

Очевидно, что для этого требуется создание общетерриториальных комплексных систем, позволяющих осуществлять широкий систематический мониторинг состояния растительности на длительный период.

По нашему мнению, этот комплекс мероприятий должен состоять из следующих основных направлений:

- анализ соблюдения критериев и выполнение показателей устойчивого управления лесами; сохранение биоразнообразия и лесных ландшафтов на трех уровнях: видовом, экосистемном и генетическом;

- ландшафтное картографирование;

- организация системы мониторинга на принципах биоиндикации (наиболее часто применяется на практике, основана на учете морфологических изменений высших растений) [7].

Для реализации этих систем мониторинга наиболее практичным и экономически выгодным является создание нескольких участков модельных лесов.

Согласно лесорастительному районированию Юркевича И. Д. и Гельтмана В. С., модельные леса созданы в трех геоботанических подзонах: дубово-темнохвойных лесов; грабово-дубово-темнохвойных лесов и широколиственно-сосновых лесов.

1. Модельный лес «Чаусский». В северной подзоне дубово-темнохвойных лесов (Оршано-Могилевский лесорастительный район) мо-

дельный лес возможно создавать в границах Чаусского лесхоза на площади лесного фонда около 17 тыс. га и 6,3 тыс. га сельхозугодий (23,5 тыс. га). Поскольку данный лесхоз находится на границе северной и центральной лесорастительных подзон, вблизи южной границы естественного ареала распространения ели, одной из целей создания данного модельного леса является оценка уязвимости и адаптация ели европейской к изменениям климата.

2. Модельный лес «Новогрудский». В подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов Неманско-Предполесского лесорастительного района модельный лес планируется создавать в пределах Щорсовского, Мирского и Любчанского лесничеств Новогрудского лесхоза на площади лесного фонда около 20 тыс. га и 6,5 тыс. га сельхозугодий (26,5 тыс. га).

С недавнего времени Новогрудский лесхоз участвует в реализации международного проекта «Балтийский ландшафт – Неман» (развитие инновационных подходов к устойчивым лесным ландшафтам). Цель этого проекта – содействие надлежащему (устойчивому) управлению лесными ландшафтами в регионе водосбора Балтийского моря. В связи с этим у работников лесхоза, местных структур управления и населения есть определенное понимание задач неистощительного развития.

Для данного модельного леса как одну из целей партнерства выделяют защиту почвенных и водных ресурсов как в пойме Немана, так и вокруг легендарного оз. Свитязь при разных видах природопользования.

3. Модельный лес «Мозырский». В южной подзоне широколиственно-сосновых лесов Полесско-Приднепровского лесорастительного района модельный лес предусматривается организовать на базе лесов ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз» на площади около 15 тыс. га и 7,0 тыс. га сельхозугодий (22 тыс. га).

Данный лесхоз богат сосновыми лесами на возвышенностях со сложным рельефом и пойменными дубравами, в которых существует множество нерешенных вопросов по сохранению и использованию редких и ценных лесных экосистем. Здесь приоритетная цель модельного леса – сохранение биоразнообразия в условиях многоцелевого лесопользования.

На территории модельных лесов, ограниченных в природе естественными ориентирами (реки, дороги, поля, просеки), можно организовать наблюдения, научные исследования за широким кругом различных показателей, характеризующих состояние лесных фитоценозов и окружающей среды [8]. Основными преимуществами биоиндикации являются: относительная простота организации и возможность кон-

троля больших территорий; биоиндикация основана на видимых признаках повреждений (дехромация, деформации); в некоторых случаях биоиндикация может дополняться методами физико-химического анализа. Кроме этого, на территории модельных лесов возможна организация наблюдений за динамикой ландшафтного состояния данной территории:

- динамика таксационной характеристики лесного фонда;
- площадь стихийных бедствий и влияние их на окружающую среду;
- исследование динамики лесовосстановления на фоне анализа гидрологических исследований и качества почвенно-грунтовых условий;
- применение дендроиндикационных методов, основанных на исследовании размеров годичного прироста по диаметру (т. е. ширина годичного кольца), являющихся интегральным показателем, характеризующим с высокой степенью точности взаимосвязь состояния условий внешней среды с величиной годичного прироста, что позволяет анализировать и прогнозировать возможные изменения климата.

Применение способа оценки состояния древостоев по количеству выделяемого кислорода O_2 , концентрации в воздухе O_3 и повышенному содержанию в воздухе промышленной пыли даст возможность анализировать состояние здоровья лесных биогеоценозов, так как ослабленные деревья выделяют больше специфических газов (используют насекомых при выборе древостоев для размножения).

Причины усыхания лесов состоят не только в действии загрязнения воздуха, но и являются результатом загрязнения и подкисления почв, влияющих на мелкие корни деревьев. Кислые дожди снижают насыщенность почвы основаниями, способствующими выносу кальция и магния, а также повышению содержания алюминия, что оказывает негативное воздействие на рост и развитие корней. Таким образом, данные по изучению влияния техногенных эмиссий на состояние лесных экосистем являются одним из показателей загрязнения окружающей среды [9].

В этой связи главную цель наших исследований на территории модельных лесов мы видим в комплексной оценке ответной реакции сосновых, еловых и других фитоценозов как модельных объектов на изменение химизма окружающей среды в результате хозяйственной деятельности человека как на региональном, так и на общетерриториальном уровне, с учетом индивидуальной специфики техногенных загрязнений.

Модельные леса позволяют выявить и систематизировать пространственные закономер-

ности размещения повреждений растительности по территории [10].

Предложения по использованию модельных лесов в качестве полигонов для организации системного наблюдения за уровнем техногенного загрязнения и реакции растительных компонентов на негативный экологический фактор (внесены в Международный проект «Балтийский ландшафт – Неман») позволят создать новый механизм международного научно-технического сотрудничества по выработке общего понимания устойчивого управления лесами с учетом результатов их экологического состояния [11].

Качество почвенного питания растений зависит от физического и биохимического составов почвы, наличия необходимых химических элементов, физической глины, влажности (застойное, проточное) и теплового режима почвы.

Каждому виду присущи индивидуальные потребности в почвенном питании. Для ели европейской лучшие условия роста наблюдаются при кислотном балансе почвы $pH = 5,0-6,0$; для сосны лучшие условия роста наблюдаются при $pH = 5,0-7,5$; для березы – $4,7-5,0$; дуба – $5,5-6,2$.

Наибольшее значение для растительности в составе атмосферного воздуха имеет кислород, углекислый газ, в свою очередь, является одним из основных компонентов в синтезе органического вещества. Кроме данных химических элементов, в атмосферном воздухе присутствуют также примеси воздуха, основную массу которых составляет пыль (растворимые и нерастворимые компоненты). Находящиеся в атмосфере поллютанты, дым оказывают различное влияние на жизнедеятельность растений.

Пришло время, когда устойчивое управление лесами необходимо оценивать не только по соблюдению действующих требований Международных критериев и показателей устойчивого управления лесами, но и по состоянию устойчивости экосистемы (биогеоценоза) сопротивляться воздействию антропогенной нагрузки («здоровье лесов»).

Для руководства и осуществления практической деятельности модельного леса оформляется соглашение о создании на базе лесохозяйственного учреждения «ПАРТНЕРСТВА», в состав которого на добровольной основе входят:

1. Представитель Минлесхоза Беларуси – лесхоз.
2. Местный райисполком – отделы охраны природы и образования.
3. Сельхозпредприятия, вошедшие в территории модельных лесов.

4. Технологические и научно-исследовательские учреждения:

- БГТУ;
- Институт леса;
- Институт экспериментальной ботаники;
- Университет им. Сахарова;
- экологические общественные организации (местные);
- ОО «Ахова птушак Бацькаўшчыны».

В соответствии с Государственной программой «Белорусский лес» на 2016–2020 годы [2], а также Лесным кодексом Республики Беларусь ст. 97 предусматривается мониторинг лесов посредством системы регулярных наблюдений за состоянием лесов, оценки и прогноза изменений, происходящих в лесных биогеоценозах.

Государственная программа предусматривает:

– оптимизацию направлений мониторинга лесов (более детальный мониторинг лесов на участках лесного фонда, на которых динамика изменений состояния лесов под воздействием внешних факторов более значительная, и минимизация качества наблюдений на участках лесного фонда, которые в меньшей степени подвержены влиянию различных факторов), а также совершенствование методики состояния лесов;

– оптимизацию и совершенствование критериев и индикаторов устойчивого управления лесами в соответствии с принятым Европейским процессом «Леса Европы».

Стратегическим планом развития лесохозяйственной отрасли на период 2015–2030 годы поставлена задача повышения уровня информированности местного населения и широкой общественности в сфере управления лесами и ведения лесного хозяйства.

Все предусмотренные правительством задачи в области лесного хозяйства могут быть успешно реализованы при непосредственном использовании созданных модельных лесов.

Заключение. В настоящее время существует международная сеть модельных лесов, в нее входят 57 модельных лесов, объединенных в 5 международных региональных территорий, задачей которых является пропаганда успешных практик устойчивого ведения лесного хозяйства и организация новых модельных лесов.

Тематика проектов модельных лесов разнообразна. Она включает как инновационные проекты постиндустриального уровня, требующие серьезного научного обеспечения, так и более простые, но важные для занятости и повышения уровня жизни местного населения.

Для Беларуси все описанные направления деятельности модельных лесов актуальны.

Конкретные направления должны устанавливаться применительно к ландшафту, т. е. к территории модельного леса, в процессе переговоров со всеми заинтересованными сторонами.

Модельный лес в качестве подхода привлекателен для Беларуси как основание для интенсификации и оживления диалога всех заинтересованных в устойчивом развитии сторон, а также как возможность получения международной технической помощи и внешнего финансирования для внедрения передового опыта, повышения авторитета национального лесного хозяйства и страны в целом.

Разработки ученых Белорусского государственного технологического университета, Института экспериментальной ботаники, Института леса, других учреждений и организаций могут быть использованы в процессе деятельности модельных лесов для решения поставленных задач.

Для реализации новых целей устойчивого управления и пропаганды деятельности лесной науки модельный лес должен рассматриваться как действующая модель устойчивого развития лесной территории на основе добровольного партнерства на принципах многоцелевого неистощительного лесопользования и экологизированного управления лесами, включая применение и переработку древесных и недревесных ресурсов, развитие соответствующих экономических структур с учетом интересов местного населения. В перспективе национальная сеть модельных лесов должна привести к созданию постоянного механизма сотрудничества и выработке общего понимания устойчивого управления лесами на локальном, региональном и национальном уровнях с учетом экономических, экологических и социальных ценностей.

В этой связи главная цель наших исследований на территории модельных лесов заключается в комплексной оценке ответной реакции сосновых, еловых и других фитоценозов как модельных объектов на изменение химизма окружающей среды в результате хозяйственной деятельности человека как на региональном, так и на общетерриториальном уровне, с учетом индивидуальной специфики техногенных загрязнений.

Модельные леса позволяют выявить и систематизировать пространственные закономерности размещения повреждений растительности по территории и прогнозировать их распространение [7].

Белорусская продукция должна соответствовать критериям не только сегодняшнего, но и завтрашнего дня.

Положение о модельных лесах и порядок их функционирования по основным направлениям деятельности позволит привлечь к работе по вопросам лесного образования и его пропаганды, роли лесов в экологической стабилизации окружающей среды отделы охраны

природы, образования районного уровня, специалистов различных высших учебных учреждений и институтов Академии наук, а также лесоводов и ученых из других государств, что существенно поднимет авторитет лесоводов и ученых Беларуси.

Литература

1. Валуева Э. История и современное состояние проекта «Модельный лес «Ковдозерский» // Устойчивое лесопользование. 2008. № 2. С. 39–41.
2. Государственная программа «Белорусский лес» на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]: утв. пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 18.03.2016, № 215. Режим доступа: http://nasb.gov.by/rus/activities/research/2016/les_2016-2020.pdf. Дата доступа: 15.03.2018.
3. Зорин В. П. Воспроизводство ресурсов и критерии устойчивого управления и развития лесов. Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 16–20.
4. Зорин В. П. Международный опыт и создание модельных лесов Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2011. Вып. XXI. С. 14–17.
5. Зорин В. П. Стратегические цели и критерии устойчивого управления лесами Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2007. Вып. XV. С. 12–16.
6. Зорин В. П. Политика и стратегия устойчивого управления лесами Беларуси // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 16–19.
7. Кузьминов И. Модельные леса: история развития и тематика проектов // Устойчивое лесопользование. 2009. № 3. С. 45–49.
8. Маевский П. А. Глобальные проблемы ведения устойчивого управления лесами (УУЛ) на примере модельного леса «Прилузь» Республика Коми, Россия // Леса России: независимая сертификация и устойчивое управление. М., 2000. С. 75–85.
9. Равино А. В., Деревяго И. П. Лесные ресурсы Беларуси в системе устойчивого природопользования // Леса Беларуси и их рациональное использование: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск / БГТУ, 2000. С. 53–55.
10. Руководство по развитию модельных лесов // Секретариат международной сети модельных лесов. Природные ресурсы Канады. Оттава: Лесная служба Канады, 2008. 25 с.
11. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период 2015–2030 годы: утв. Заместителем Премьер-министра Респ. Беларусь 23.12.2014 г. № 06/201-271. Минск: Совет Министров Респ. Беларусь, 2015. 15 с.

References

1. Valueva E. History and current state of the project model forest “Kovdozersky”. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management]. 2008, no. 2, pp. 39–41 (In Russian).
2. *Gosudarstvennaya programma “Belorusskiy les” na 2016–2020 gody* [State program “Belarus Forest” for 2016–2020]. Minsk, 2016. 28 p. Available at: http://nasb.gov.by/rus/activities/research/2016/les_2016-2020.pdf (accessed 15/03/2018).
3. Zorin V. P. Reproduction of resources and criteria for sustainable management and development of forest. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2008, pp. 16–20 (In Russian).
4. Zorin V. P. International experience and creation of model forest of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2011, pp. 14–17 (In Russian).
5. Zorin V. P. Strategic goals and criteria for sustainable forest management in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2007, pp. 12–16 (In Russian).
6. Zorin V. P. Policy and strategy for sustainable forest management in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 16–19 (In Russian).
7. Kuz'minov I. Model forest development history and subject matter of projects. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management]. 2009, no. 3, pp. 45–49 (In Russian).
8. Maevskiy P. A. Global problems of sustainable forest management on the example of the model forest “Priluzie” Republic Komi, Russia. *Lesa Rossii: nezavisimaya sertifikatsiya i ustoychivoye upravleniye* [Forest of Russia: independent certification and sustainable management], 2000, pp. 75–80 (In Russian).
9. Ravino A. V. Derevyago I. P. [Forest resources of Belarus in the system of sustainable nature management]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (“Lesa Belarusi i ikh ratsional'noye ispol'zovaniye”)* [Materials of the Interregional Scientific and Technical Conf. (“Forest of Belarus and their rational use”)]. Minsk, 2000, pp. 53–55 (In Russian).

10. Guidelines for the development of model forests. *Sekretariat mezhdunaridnoy seti model'nykh lesov. Prirodnyye resursy Kanady – Lesnaya sluzhba Kanady* [The International network of model forests. Nature resources of Canada – Canada Forest Service]. Ottawa, 2008. 25 p.

11. *Strategicheskiy plan razvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period 2015–2030 gody* [Strategic plan for the development of the forestry sector for the period 2015–2030]. Minsk, Sovet Ministrov Resp. Belarus' Publ., 2015. P. 15.

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Поступила 31.03.2018

УДК 630*562

В. П. Машковский, П. В. Севрук

Белорусский государственный технологический университет

**СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНОВ РУБОК ЛЕСА
НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ СРЕДНЕГО ПРИРОСТА**

Разработаны справочные материалы для определения потерь от несвоевременного поступления ели в сплошную рубку главного пользования на основании динамики хозяйственной и технической спелости. Динамика анализируемых спелостей ели получена по данным таксации древостоев на пробных площадях. С целью более эффективного практического применения дополнительно были разработаны две электронные таблицы (1 вариант – с учетом динамики стоимости среднего прироста древесины, 2 вариант – с учетом динамики среднего прироста целевых сортиментов) для автоматизации процесса планирования очередности рубки, проведения многовариантных расчетов и оценки планов рубок. Для обеспечения работоспособности программы по остальным породам по таблицам хода роста также определена динамика двух спелостей. Наша программа позволит усовершенствовать систему оптимизации планов рубок леса, рассчитать потери от несвоевременного поступления древостоев в сплошную рубку главного пользования и минимизировать их в пределах ревизионного периода. Она будет удобна для работников лесного хозяйства, так как позволяет автоматизировать процессы планирования и выводить на печать ведомости отвода по годам ревизионного периода. Выполнение поставленных задач согласуется с требованиями устойчивого управления лесами.

Ключевые слова: лесопользование, средний прирост, спелости леса, потери, материалы справочные, план рубки, автоматизация процесса планирования.

V. P. Mashkovsky, P. V. Sevruk

Belarusian State Technological University

**COMPILATION OF THE CUTTING PLAN
BASED ON OF ESTIMATION OF THE AVERAGE INCREASE**

Reference materials have been developed for determination of losses from late delivery of Spruce in the clear cutting based on the dynamics of technical and economic maturity. Dynamics of analyzed maturity of the Spruce received based on data of taxation of the stands on sample plots. For the purpose of more effective practical application, in addition, two electronic table (1 variant – based on dynamics of the cost of average increase of timber, 2 variant – based on dynamics of the average increase of leading assortments) developed for automation of the planning process priorities for cutting, multivariate calculations and evaluation of the cutting plans. To ensure the operability of the program for all species according to the growth table's dynamics of two maturity have been determined too. Our program will allow us to improve the system of optimization of cutting plan of forests; determine the losses from late delivery of stands in the clear cutting and minimize losses within the auditorial period ("revizionnyy period"). It will be convenient for forestry workers, because planning processes automated and print the list of delimitation for auditorial period. The fulfillment of the tasks is consistent with the requirements of sustainable forest management.

Key words: forest harvesting, average increase, forest maturity, losses, reference materials, cutting plan, automation of the planning process.

Введение. Лесоустройство является «системой инвентаризации лесного фонда, проектирования лесохозяйственных и иных мероприятий, направленных на охрану, защиту и воспроизводство лесов, рациональное (устойчивое) использование лесных ресурсов, сохранение и усиление средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных и иных функций лесов, проведение единой научно-технической политики в лесном хозяйстве» (ст. 1 Лесного кодекса Республики Беларусь) [1]. Использование, охрана, защита и воспроизводство лесов должны осуществляться

с соблюдением принципа рационального (устойчивого) использования лесных ресурсов (ст. 8 Лесного кодекса Республики Беларусь) [1].

В системе лесоустройства проектированию главного пользования уделяется большое внимание, так как показатели главного пользования служат основанием для регулирования породной и возрастной структуры лесов, повышения их продуктивности, назначения лесовосстановительных и других лесохозяйственных мероприятий [2].

В процессе проектирования главного пользования проводят расчет ежегодного размера

главного пользования и составление плана рубки (ведомость таксационных выделов, запроектированных в рубку главного пользования, на ревизионный период). В ведомости дана общая характеристика древостоев, назначенных в рубку, распределение рубок по пятилетиям в разрезе лесничеств лесхоза.

Все древостои, находящиеся в ведомости рубок главного пользования, должны быть рублены в течение ревизионного периода. Кроме того, следует учесть требования постоянства и равномерности лесопользования, состояния насаждений.

Согласно «Правилам отпуска древесины на корню и ее заготовки в лесах Республики Беларусь» [3] в главное пользование в первую очередь назначаются недорубы прошлых лет; участки, определенные в расчистку; древостои для рубки в первый год ревизионного периода, согласованные с лесхозом, спелые древостои небольшой площади (менее 1 га) среди молодняков. Остальные древостои назначаются в рубку в зависимости от величины текущего прироста:

- поврежденные древостои;
- перестойные древостои;
- спелые древостои старейшего класса возраста;
- спелые древостои младшего класса возраста;
- припевающие древостои по мере их поспевания.

В рамках программы «Совершенствование правоприменения и управления в лесном секторе (ФЛЕГ) в странах Европейской политики добрососедства и в России» группа экспертов (Буй А. А., Машковский В. П., Минкевич С. И.) одним из предложений по совершенствованию системы учета древесины в нашей стране отмечали автоматизированную оптимизацию плана рубки на основании спелости леса с применением методов математического программирования [4].

Цель исследования – составление плана сплошной рубки леса с учетом динамики стоимости среднего прироста древесины (1-й вариант) и среднего прироста крупной и средней древесины (2-й вариант).

Основная часть. Максимальный эффект от лесовыращивания наблюдается в том случае, если древостой поступает в рубку в момент максимизации его среднего прироста. Отклонения в ту или иную сторону непременно приведут к потерям [5].

Средний прирост имеет большое практическое значение при организации лесопользования, поскольку он положен в основу определения многочисленных спелостей леса. В настоящее время действующие возраста рубки

эксплуатационных лесов установлены по технической спелости [2, 6, 7].

В нашем исследовании динамика хозяйственной и технической спелости для ели анализировалась по материалам закладки и таксации древостоев на 316 пробных площадях, в которых имеется еловый элемент леса в возрасте 40 лет и старше. Все пробные площади были сгруппированы по классам бонитетам. На базе I^a–II классов бонитета были сформированы две группы по полноте на пробной площади – 0,7 и менее; 0,8 и более.

Примеры уравнений динамики хозяйственной и технической спелости по группам экспериментального материала приведены на рисунке.

На основе целевой функции и ограничений, позволяющих минимизировать потери при несвоевременном поступлении древостоев в рубку (1), было разработано уравнение для определения потерь от несвоевременного поступления древостоев в рубку главного пользования (2) [5]:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n+1} X_{i,j} (Z_i^{\text{cp,max}} - \frac{V_{i,j}}{A_{i,j}}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $X_{i,j}$ – площадь i -того выдела, который будет вырублен в год j , га; $Z_i^{\text{cp,max}}$ – максимально возможное значение среднего изменения запаса древостоя или ведущих сортиментов в i -том выделе, м³/га; $V_{i,j}$ – запас древесины или отдельных целевых сортиментов в i -том выделе в j -том году, м³/га; $A_{i,j}$ – возраст древостоя в i -том выделе в j -том году, лет.

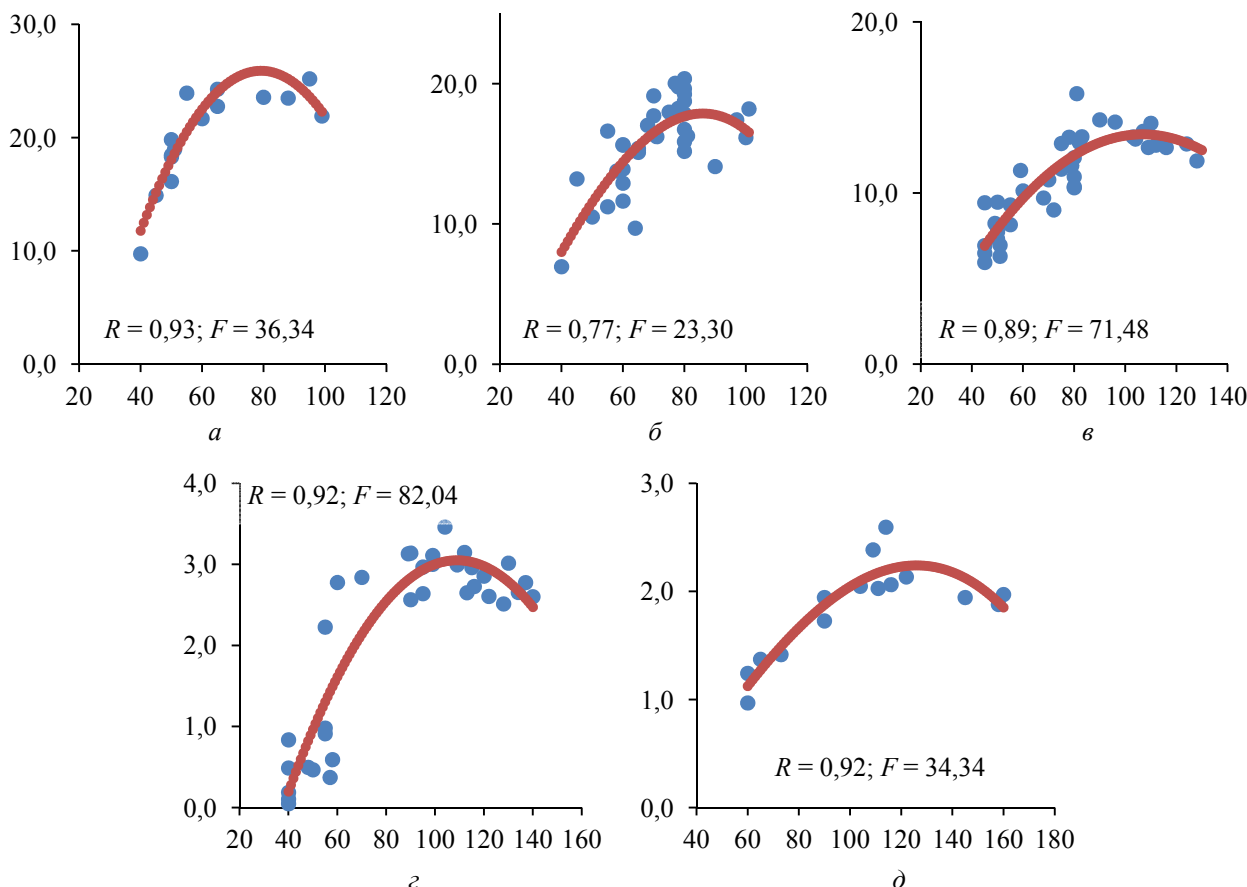
$$\Pi = S_p A_p (P^{\text{cp,max}} - P^{\text{cp},A_p}), \quad (2)$$

где S_p – площадь выдела, который вырубается при рубке; A_p – возраст рубки древостоя, лет; $P^{\text{cp,max}}$ – максимальный средний прирост, м³ (с учетом технической спелости) или руб. (с учетом хозяйственной спелости)/год·га; P^{cp,A_p} – средний прирост в возрасте рубки, м³ или руб./год·га.

С учетом динамики анализируемых приростов ели по группам экспериментального материала, коэффициента состава и полноты были рассчитаны потери от несвоевременного поступления ели в сплошную рубку главного пользования. Данные величины были сведены в справочные таблицы. Пример таблицы для оценки потерь в стоимости древесины приведен в таблице.

Их использование позволит определить величину потерь при назначении ели в рубку в том или ином возрасте с учетом бонитета, полноты и коэффициента состава в древостое.

Для более удобного практического применения в Microsoft Excel были составлены два варианта электронной таблицы.



Примеры динамики хозяйственной и технической спелости по разным группам экспериментального материала:

a – хозяйственная спелость I^a класса бонитета (полнота 0,7 и менее);

б – хозяйственная спелость I класс бонитета (полнота 0,7 и менее);

в – хозяйственная спелость II класс бонитета (полнота 0,8 и более);

г – техническая спелость III класса бонитета; *д* – техническая спелость IV класса бонитета

Кроме ели, в данных электронных таблицах по таблицам хода роста используется также динамика соответствующих средних приростов сосны, дуба, березы, ольхи черной и осины (наиболее представленных древесных видов в породном составе Республики Беларусь).

Общий порядок работы в программе следующий:

- копирование ведомости выделов, запроектированных в рубку главного пользования на ревизионный период;

- формирование списка выделов, запроектированных в сплошную рубку главного пользования, для расчета;

- расчет потерь на основе динамики спелости для каждого элемента леса в выделе по годам ревизионного периода;

- суммирование потерь по каждому элементу леса в пределах выдела. Годом оптимальной рубки считается год ревизионного периода с минимальной суммой потерь;

- планирование очередности назначения в рубку выделов;

- расчет общих потерь по годам ревизионного периода на основе площадей, запроектированных в рубку в соответствующий год;

- печать плана отвода лесосек на необходимый год ревизионного периода. Форма плана была взята из Правил по отводу и таксации лесосек, 2006 г.

Кроме того, в программе отслеживается следующая ситуация: суммы вырубаемой площади по годам ревизионного периода не должны превышать общей площади выдела. И что самое важное, осуществляется контроль ежегодного размера лесопользования по запасу, назначенному лесоустройством.

С помощью данных электронных таблиц можно оценить план сплошных рубок главного пользования, а также провести многовариантные расчеты по планированию выделов в сплошную рубку главного пользования по годам ревизионного периода для минимизации потерь в стоимости древесины или в запасе крупной и средней древесины.

Справочная таблица для оценки потерь в стоимости древесины от несвоевременного поступления ели в сплошную рубку главного пользования (фрагмент), руб./га

I^a класс бонитета													
<i>Полнота 0,4</i>													
Коэф. состава	Возраст елового элемента леса												
	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	120
10	11	25	47	76	113	159	215	280	356	444	543	654	735
8	8	20	37	61	91	127	172	224	285	355	434	523	588
6	6	15	28	46	68	96	129	168	214	266	326	392	441
2	2	5	9	15	23	32	43	56	71	89	109	131	147
1	1	3	5	8	11	16	21	28	36	44	54	65	74

<i>Полнота 1,0</i>													
Коэф. состава	Возраст елового элемента леса												
	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	120
10	24	53	96	152	223	310	415	538	681	843	1028	1235	1387
8	19	43	76	121	178	248	332	430	544	675	822	988	1109
6	14	32	57	91	134	186	249	323	408	506	617	741	832
2	5	11	19	30	45	62	83	108	138	169	206	247	277
1	2	5	10	15	22	31	42	54	68	84	103	124	139

Заклучение. Разработанная программа будет удобна для сотрудников лесного хозяйства при планировании очередности назначения древостоев в рубку и уменьшении потерь от их несвоевременной рубки.

Использование хозяйственной спелости при планировании лесосечного фонда является более приемлемым для лесохозяйственной практики потому, что позволяет получить максимальный денежный доход. Техническая спелость (на базе

которой в настоящее время рассчитаны возраста рубки эксплуатационных лесов) учитывает количественные показатели выхода крупной и средней древесины (целевых сортиментов).

Выполнение задач оптимизации планирования рубок главного пользования согласуется с требованиями устойчивого управления лесами по экологически ответственному, социально эффективному и экономически жизнеспособному лесопроизводству.

Литература

1. Лесной кодекс Республики Беларусь: 24 декабря 2015 г. № 332-3: принят Палатой представителей 3 декабря 2015 г.; одобрен Советом Респ. 9 декабря 2015 г. Минск: Амалфея, 2015. 70 с.
2. Ермакоў В. Я., Атрошчанка А. А., Дзямід М. П. Лесаўпарадкаванне: падручнік для студэнтаў вышэйшых навучальных устаноў па спецыяльнасці «Лясная гаспадарка». Выд. 4-е. Мінск: БДТУ, 2002. 500 с.
3. Правила отпуска древесины на корню и ее заготовки в лесах Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 7 мая 2007 г., № 214 // Нац. Реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2007. № 118. 1/8576.
4. Буй А. А., Машковский В. П., Минкевич С. И. Сравнительный анализ существующей системы учета древесины в Беларуси и за рубежом; разработка предложений по совершенствованию системы учета древесины на основе международного опыта: отчет группы экспертов по мероприятию 2.3. Странового плана ФЛЭГ Республики Беларусь. Минск: БГТУ, 2011. 93 с.
5. Машковский В. П. Методика оценки потерь от несвоевременного поступления древостоев в рубку // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, 2008. Вып. XVI. С. 21–25.
6. Машковский В. П., Севрук П. В. Техническая и хозяйственная спелость еловых древостоев // Труды БГТУ. 2016, № 1: Лесное хоз-во. С. 14–18.
7. 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 переработка обновляемых ресурсов. С. 31–36.

References

1. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Lawbook of the Republic of Belarus]. Minsk, Amalfeya Publ., 2015. 70 p.
2. Ermakou V. Ya., Atroshchanka A. A., Dzyamid M. P. *Lesauparadkavanne* [Forest Inventory]. Minsk, BGTU Publ., 2002. 500 p.

3. *Pravila otpuska drevesiny na kornyu i yeye zagotovki v lesakh Respubliki Belarus'* [Rules for the Release of Standing Timber and its Harvesting in the Forests of the Republic of Belarus]. National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus. 2007. No. 118. 1/8576 (In Russian).

4. Buy A. A., Mashkovsky V. P., Minkevich S. I. *Sravnitel'nyy analiz sushchestvuyushchey sistemy ucheta drevesiny v Belarusi i za rubezhom; razrabotka predlozheniy po sovershenstvovaniyu sistemy ucheta drevesiny na osnove mezhdunarodnogo opyta: otchet gruppy ekspertov po meropriyatiyu 2.3. Stranovogo plana FLEG Respubliki Belarus'* [Comparative analysis of the existing system of accounting of wood in Belarus and abroad; development of proposals for improving the accounting system for wood based on international experience: report of the expert group on activity 2.3. Country Plan of the FLEG of the Republic of Belarus]. Minsk, BGTU Publ., 2011. 93 p.

5. Mashkovsky V. P. Methods of assessing the losses from delays in collection of the stands to the wheel-house. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series 1, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 21–25 (In Russian).

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

7. 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* [Proceeding of BSTU], 2017, 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

Сеvрук Павел Владимирович – аспирант кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (22006, 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

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

Поступила 31.03.2018

УДК 630*232

О. А. Севко, А. В. Пупенко

Белорусский государственный технологический университет

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЧИСТЫХ И СМЕШАННЫХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО УСЫХАНИЯ В ПОДЗОНЕ
ШИРОКОЛИСТВЕННО-СОСНОВЫХ ЛЕСОВ БЕЛАРУСИ**

Для проведения анализа усыхающих насаждений был собран массив данных в ГЛХУ «Калинковичский лесхоз». Среди породного состава преобладают сосновые насаждения, занимающие 73,4% площади покрытых лесом земель. Значительную долю сосняков составляют среднеполнотные насаждения. Возрастная структура лесхоза неравномерна: преобладают средневозрастные насаждения. Доля смешанных сосняков составляет 43%. Далее проведен анализ поврежденных сосновых древостоев и выявлена в них доля смешанных и чистых насаждений, оценены распределение их по полноте и типам леса, а также возрастная структура.

По состоянию на конец 2017 г. в ГЛХУ «Калинковичский лесхоз» было выявлено 1223 га усыхающих насаждений (288 тыс. м³). Доля чистых насаждений по запасу составила 91,1%, а смешанных – 8,9%. По площади распределение близко к предыдущему: доля чистых – 91,7%, смешанных – 8,3%. Распределение усыхающих насаждений по полноте показывает, что большая доля усыханий приходится на насаждения с полнотой 0,8–0,7. Распределение усыхающих насаждений по типам леса показывает, что наибольшая площадь поврежденных насаждений приходится на сосняки мшистые и орляковые. Среди поврежденных сосновых древостоев преобладают средневозрастные, приспевающие и спелые. Результаты анализа поврежденных сосновых насаждений в условиях массовых усыханий выявили, что менее устойчивыми являются чистые сосновые насаждения.

Ключевые слова: усыхающие насаждения, поврежденные древостои, сосново-березовый древостой, возрастная структура.

O. A. Sevko, A. V. Pupenko

Belarusian State Technological University

**COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS OF THE CLEAN
AND MIXED PINE PLANTINGS IN THE CONDITIONS OF A MASS SHRINKAGE
IN A SUBBAND OF THE BROAD-LEAVED AND PINE WOODS OF BELARUS**

To analyze the shrinking plantations, an array of data was collected at the Kalinkovichi Forestry. Pine forests prevail among the species composition, occupying 73.4% of the area covered by forest land. A significant proportion of pine forests are occupied by medium-size plantings. The age structure of the plantations is uneven: middle-growth plants prevail. The share of mixed pine stands is 43%. Further analysis of damaged pine stands and revealed the proportion of mixed and pure plantations in them, their distribution according to the completeness and types of forest, as well as their age structure was estimated.

As of the end of 2017, 1223 hectares of shrinking plantations (288.000 m³) were identified at the Kalinkovichi Forestry. The share of pure plantations stock was 91.1%, and mixed – 8.9%. In terms of area, the distribution is close to the previous one: the share of clean ones – 91.7%, mixed – 8.3%. The distribution of shrinking plantations by completeness shows that a large proportion of desiccations occur in plantations with a total density of 0.8–0.7. The distribution of shrinking plantations by forest types shows that the largest area of damaged plantations is mossy and eagle pine forests. Among the damaged pine stands are pre-middle-aged, ripening and ripe. The results of the analysis of damaged pine plantations under conditions of mass desiccation have shown that pure pine stands are less stable.

Key words: shrinking plantings, damaged stands, pine-birch stand, age structure.

Введение. Так называемое короедное усыхание сосны в Беларуси начали фиксировать еще с 2010 г. Впервые очаги были выявлены в Гомельском лесхозе, в 2012 г. факты такого усыхания обнаружены в Минской и Гродненской областях, в 2014 г. – в лесхозах Брестской области, а к 2015 г. наличие проблемы

отмечено во всех административных областях республики.

С таким фактом массового ослабления сосняков столкнулись впервые за всю историю ведения лесного хозяйства в нашей стране. Столь масштабные лесопатологические процессы в сосняках предположительно связаны с

климатическими изменениями, уменьшением количества осадков, приводящих к ослаблению защитных функций деревьев и способствующих размножению стволовых насекомых. И агрессивнее всего в современных условиях сосну атакует короед вершинный.

Увеличение площади очагов и повышение интенсивности усыхания деревьев в них в последние годы фиксируют не только в лесных культурах, но и в сосняках естественного происхождения. Специалисты в значительной степени связывают данное явление с существенной трансформацией комплекса стволовых вредителей сосны и повышением его активности.

Основная часть. Согласно лесорастительному районированию Республики Беларусь [1] леса Калинковичского лесхоза относятся к Центрально-Полесскому комплексу лесных массивов Полеско-Приднепровского лесорастительного района подзоны широколиственно-сосновых лесов.

В климатическом отношении район принадлежит к Житковичско-Мозырскому агроклиматическому району. Климат региона отличается, по сравнению с другими частями республики, более выраженной континентальностью и повышенной долей суммарной солнечной радиации. Континентальность климата в сочетании с пониженной влажностью и высокой теплообеспеченностью вегетационного периода обуславливает то, что граница сплошного распространения ели здесь протекает несколько севернее, чем в прилегающих районах.

Климатические условия в целом весьма благоприятны для произрастания сосны.

Согласно географическому районированию [1] территория лесхоза расположена в пределах Василевичской равнины Гомельского Полесья. Современный рельеф сформировался в результате эрозионно-аккумулятивной деятельности днепровского ледника, его талых вод и последующего воздействия эрозионно-денудационных и биогенных (почвы, торфяники) процессов.

На территории Калинковичского лесхоза в соответствии с особенностями рельефа, почвообразующих пород, растительности имеют место следующие процессы почвообразования: дерновый, дерново-подзолистый, подзолистый, болотный и пойменный.

Леса Калинковичского лесхоза относятся к 1-й и 2-й группам в зависимости от народнохозяйственного значения, местоположения, выполняемых природоохранных и рекреационных функций.

Всего площадь 1-й группы лесов составляет 56,7% лесного фонда, в составе которых выделено шесть категорий защитности.

Все остальные леса отнесены к эксплуатационным лесам второй группы и составляют 43,3% лесного фонда лесхоза.

Распределение площади лесного фонда по 1-й группе леса составляет 56,7%, а для 2-й группы леса – 43,3%.

Породный состав лесхоза многообразен: наряду с местными древесными породами введены новые хозяйственно ценные и быстрорастущие породы (рис. 1). Важнейшими эдификаторами лесных формаций выступают: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель обыкновенная (*Picea abies* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), береза бородавчатая (*Betula pendula* L.), ольха черная (*Alnus glutinosa* L.). Сопоставляя степень участия древесных пород в отдельных категориях, преобладающей породой является сосна. В целом в Калинковичском лесхозе ситуация по распределению по преобладающим породам близка к оптимальной.

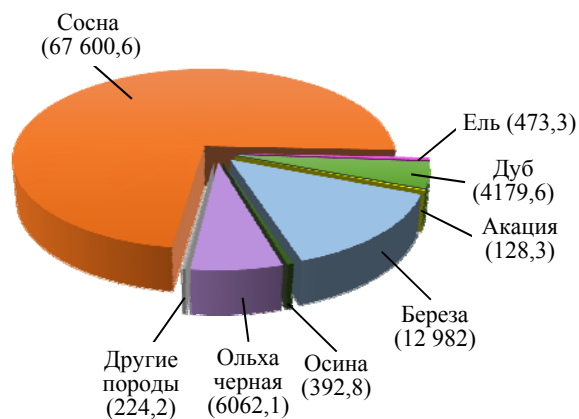


Рис. 1. Распределение покрытых лесом земель по породам

Высокобонитетных насаждений (I класс бонитета и выше) в лесхозе 47,4%, низкобонитетных насаждений (IV–VB бонитет) всего 2,5%. Наиболее высокобонитетные – еловые и осиновые насаждения. Анализ сосняков также выявил преобладание высокобонитетных древостоев – 92,1% (рис. 2).

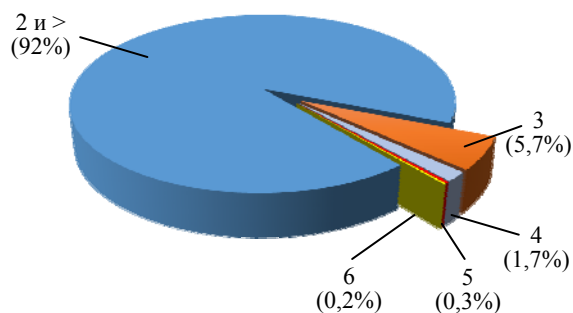


Рис. 2. Распределение сосновых насаждений по бонитетам

В лесхозе преобладают высокополнотные насаждения. Насаждений с полнотой 0,8 и выше – 31,1%, низкополнотных насаждений с полнотой 0,3–0,4 – всего 1,1%. Наиболее высокополнотными являются сосновые насаждения (рис. 3).

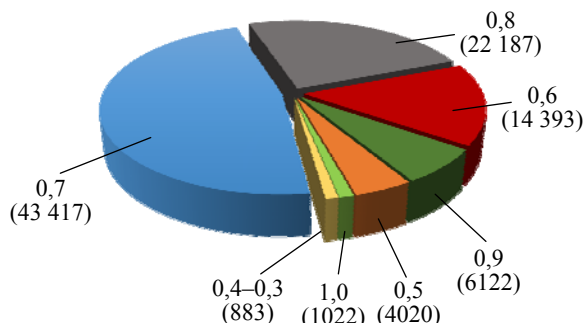


Рис. 3. Распределение сосновых насаждений по полнотам

По площади в ГЛХУ «Калинковичский лесхоз» преобладают средневозрастные насаждения, которые занимают 42 192,4 га. Молодняки занимают площадь 18 205,0 га, а приспевающие – 24 187,9 га. Спелые и перестойные насаждения представлены на площади 6860,5 га.

При этом доля смешанных сосновых древостоев составляет 43%. В чистых сосняках преобладают средневозрастные древостои, в смешанных – участие молодняков и средневозра-

стных насаждений практически одинаково 10 590 и 10 262 га (рис. 4).

Изменения средних таксационных показателей за ревизионный период носило положительный характер. Средний возраст насаждений увеличился на 4 года; класс бонитета – на 0,3; средняя полнота – на 0,01; запас на 1 га покрытых лесом земель – на 25 м³, спелых и перестойных – на 24 м³.

Средние таксационные показатели в целом были приближены к оптимальным средним таксационным показателям.

Площадь лесного фонда лесхоза за прошедший ревизионный период увеличилась на 1,8%, в том числе покрытых лесом земель на 5,4%. В целом динамика площадей лесного фонда по видам земель была положительная.

По состоянию на конец 2017 г. в ГЛХУ «Калинковичский лесхоз» было выявлено 1223 га усыхающих насаждений с общим запасом 288 тыс. м³, для проведения сравнительного анализа показателей чистых и смешанных сосновых насаждений был собран массив данных. Анализ распределения усыхающих сосновых насаждений по группам возраста выявил преобладание средневозрастных и приспевающих древостоев (рис. 5), что соответствует возрастной структуре сосняков лесхоза в целом.

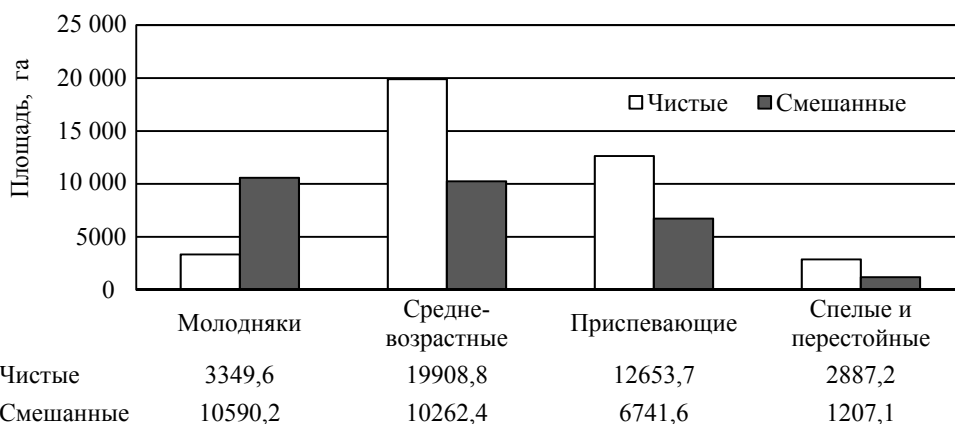


Рис. 4. Распределение чистых и смешанных сосновых насаждений по группам возраста

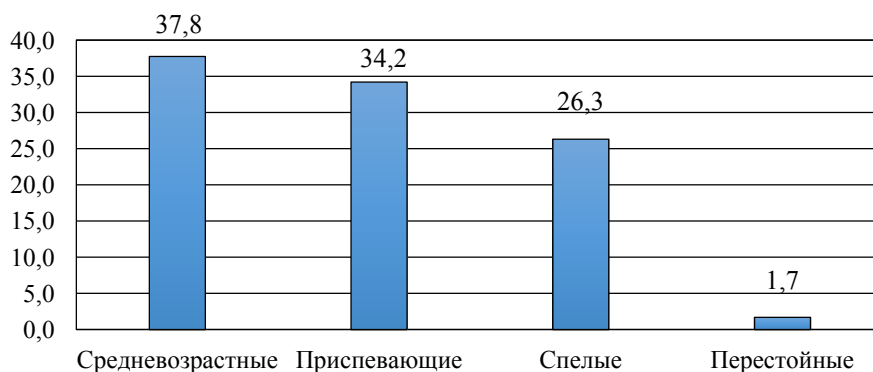


Рис. 5. Распределение усыхающих сосновых насаждений по группам возраста

Распределение усыхающих насаждений по типам леса показывает, что в ГЛХУ «Калинковичский лесхоз» наибольшая площадь поврежденных насаждений приходится на мшистый и орляковый типы леса (рис. 6).

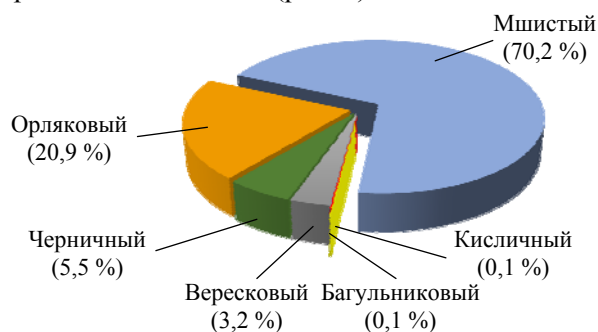


Рис. 6. Распределение усыхающих сосновых насаждений по типам леса

Распределение усыхающих насаждений по полнотам показывает, что большая доля усыханий приходится на насаждения с полнотой 0,8–0,7 (рис. 7).

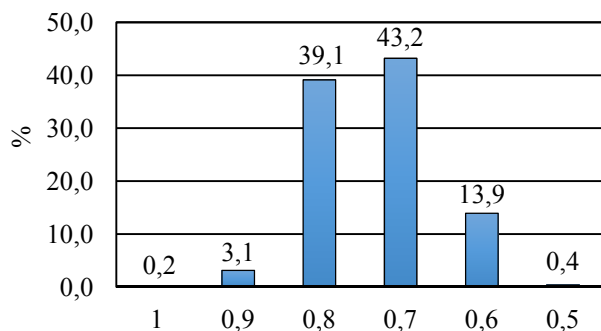


Рис. 7. Распределение усыхающих сосновых насаждений по полнотам

Распределение усыхающих насаждений по классам бонитета показывает, что большая доля усыханий приходится на насаждения I класса бонитета, которые наиболее представлены в лесхозе (рис. 8).

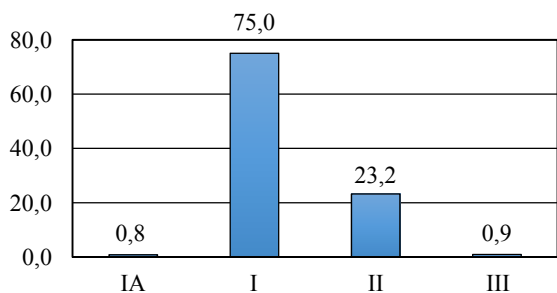


Рис. 8. Распределение усыхающих сосновых насаждений по классам бонитета

Доля чистых насаждений по запасу составила 91,1%, а смешанных – 8,9% (рис. 9).

По площади распределение близко к предыдущему: доля чистых – 91,7%, смешанных – 8,3%.

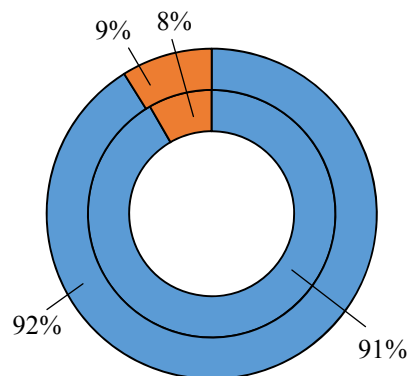


Рис. 9. Распределение усыхающих сосновых насаждений по полнотам и запасам на чистые и смешанные насаждения

Полученные результаты показывают, что значительно более устойчивыми к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды являются смешанные сосновые древостои. Это подтверждено исследованиями различных авторов [6–11, 13, 16].

Актуальность вопроса создания смешанных сосново-березовых древостоев указывает на необходимость уточнения значимости межвидового влияния в сосново-березовых древостоях, выявления численных показателей этих связей, определения оптимального расстояния между деревьями [2–5, 12, 14, 15] при создании лесных культур и использования полученных закономерностей для дальнейшего формирования древостоев при проведении рубок ухода и при лесоустроительном проектировании.

Заключение. Проведя сравнительный анализ общих показателей поврежденных сосновых насаждений в условиях массовых усыханий, можно сделать вывод, что менее устойчивыми являются чистые сосновые насаждения. При практически равных долях чистых и смешанных древостоев усыхают в подавляющем большинстве чистые насаждения сосны (91%). Влияние таких показателей, как полнота, класс бонитета, типы леса не выявлено, распределение усыхающих древостоев по ним подчиняется общим закономерностям. Так, в ГЛХУ «Калинковичский лесхоз» наиболее распространены высокопродуктивные древостои, произрастающие на орляковом и мшистом типах леса, следовательно, и доля усыхающих сосновых насаждений с такими показателями преобладает в общей массе.

Исследование подтвердило важность сохранения и создания смешанных сосновых древостоев.

Литература

1. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.
2. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск, 1984. С. 42–47.
3. 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.
4. Коцан В. В. Классификация деревьев на основании пространственной структуры при назначении в рубки ухода // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 24–27.
5. 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.
6. Лосицкий К. Б., Чуенков В. С. Эталонные леса. М.: Лесная пром-сть, 1980. 190 с.
7. Мирошников В. С. Сосново-березовые насаждения БССР, их строение, лесоводственное и хозяйственное значение: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / БЛТИ. Минск, 1955. 128 с.
8. Попов В. К. Сосново-березовые культуры Центральной лесостепи. Воронеж: Квадрат, 1997. 224 с.
9. Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно загрязненных землях: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси; ред. В. Ф. Багинский. Вып. 60. Гомель, 2004. 474 с.
10. Романов В. С. Изучение сосново-березовых культур в лесах БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Академия наук БССР; Ин-т социалистического сельского хозяйства. Минск, 1956. 18 с.
11. Биологическая продуктивность сосны в лесной зоне / В. И. Рубцов [и др.]. М.: Наука, 1976. 224 с.
12. Севко О. А. Оценка зависимости текущего прироста сосновой части смешанных сосново-березовых древостоев от их пространственной структуры // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. 2015. С. 41–45.
13. Севко О. А., Коцан В. В. Методика создания цифровой модели пространственного распределения деревьев по материалам постоянных пробных площадей с использованием ГИС-технологий // Труды БГТУ. 2011, № 1: Лесное хоз-во. С. 53–57.
14. Сеннов С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Изв. С.-Петербургской лесотехнической академии. СПб., 1993. 172 с.
15. Усольцев В. А., Семьшев М.М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 137 с.
16. Взаимоотношения древесных пород в чистых и смешанных насаждениях / И. Н. Рахтеенко [и др.] // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах. Минск: Наука и техника, 1976. 116 с.

References

1. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Selection of forest types in forest management operations]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p.
2. Gribanov V. Ya. Spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov*. [Productivity of forest phytocenoses], 1984, Krasnoyarsk, pp. 42–47 (In Russian).
3. Kotsan V. V. Interrelations between taxation indicators of trees in competition circles on the example of pine forests of mossy artificial origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1(165): Forestry, pp.19–22 (In Russian).
4. Kotsan V. V. Classification of trees on the basis of the spatial structure when assigned to felling care. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1 (174): Forestry, pp. 24–27(In Russian).
5. Kotsan V. V. Estimation of the influence of the spatial structure on the taxonomic indicators of stands using the digital model of spatial distribution. *Tez. dokl. 76-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Theses of the reports of the 76th scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and post-graduate students]. Minsk, 2012. P. 13 (In Russian).
6. Lositskiy K. B., Chuenkov V. S. *Etalonnyye lesa* [Reference forests]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 190 p.

7. Miroshnikov V. S. *Sosnovo-berezovyye nasazhdeniya BSSR, ikh stroeniye, lesovodstvennoye i khozyaystvennoye znacheniyе: Avtoref. dis. kand. sel'skokhoz. nauk* [Pine-birch plantations of the BSSR, their structure, silvicultural and economic significance. Abstract of thesis cand. of agricult. sci.]. Minsk, 1955. 128 p.
8. Popov V. K. *Sosnovo-berezovyye kul'tury Tsentral'noy lesostepi* [Pine-birch cultures of the Central forest-steppe]. Voronezh, Kvadrat Publ., 1997. 224 p.
9. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva na radioaktivno zagryaznennykh zemlyakh* [Problems of Forestscience and Forestry in the contaminated land]. Gomel', issue 60. 474 p. (In Russian).
10. Romanov V. S. *Izucheniye sosnovo-berezovykh kul'tur v lesakh BSSR. Avtoref. dis. kand. sel'skokhoz. nauk* [Study of pine-birch crops in the forests of the BSSR. Abstract of thesis cand. of agricult. sci.]. Minsk, 1956. 18 p.
11. Rubtsov V. I., Novoseltseva A. I., Popov V. K., Rubtsov V. V. *Biologicheskaya produktivnost' sosny v lesnoy zone* [Biological productivity of pine in the forest zone]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 224 p.
12. Sevko O. A. Estimation of the dependence of the current increment of the pine part of mixed pine-birch stands on their spatial structure. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1 (174): Forestry, pp. 41–45 (In Russian).
13. Sevko O. A., Kotsan V. V. Method for creating a digital model of spatial distribution of trees based on materials of permanent trial plots using GIS technologies. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 19: Forestry, pp. 53–57 (In Russian).
14. Sennov S. N. Results of experimental study of competition in stands. *Izv. S.-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy]. St. Petersburg, 1993. 172 p. (In Russian).
15. Usol'tsev V. A., Semyshev M. M. *Produksionnyye kharakteristiki s uchetom konkurentsii derev'eyv 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. (In Russian).
16. Rakhteenko I. N. Relations between tree species in pure and mixed plantations. *Ekologo-fiziologicheskkiye osnovy vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Ecological and physiological basis of plant interaction in phytocenoses]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 116 p. (In Russian).

Информация об авторах

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

Пупенко Александра Владимировна – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Aleksandra_pupenko@mail.ru

Information about the authors

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

Pupenko Aleksandra Vladimirovna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Aleksandra_pupenko@mail.ru

Поступила 30.03.2018

УДК 630*562

П. В. Севрук

Белорусский государственный технологический университет

**ДИНАМИКА СТОИМОСТИ СРЕДНЕГО ПРИРОСТА ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИНДЕКСОВ ЦЕН НА ДРЕВЕСИНУ**

На основе данных таксации древостоев на пробных площадях для ели выполнен анализ момента наступления возраста хозяйственной спелости по различным вариантам лесных такс (индексов цен различных категорий древесного сырья). Для лесных такс Республики Беларусь индексы цен следующие: крупная деловая древесина – 3,89; средняя – 2,25; мелкая – 1,0; дрова и ликвид из кроны – 0,02. Величина индексов цен непосредственно влияет на динамику стоимости среднего прироста древесины. Отклонение в возрасте хозяйственной спелости по анализируемым вариантам цен от возраста хозяйственной спелости, определенного по лесным таксам, действующим в Республике Беларусь, не превышает 10 лет. Также стоит отметить, что при приближении цены крупной и средней деловой древесины к мелкой, возраст хозяйственной спелости будет уменьшаться и приближаться к количественной, и наоборот.

Сортиментная структура использованного древесного запаса по хвойному хозяйству свидетельствует о том, что на рубках заготавливаются различные сортименты и вся ликвидная древесина находит спрос. Из этого можно сделать вывод: хозяйственная спелость является актуальной для лесохозяйственной практики. Возраста хозяйственной и технической спелости близки друг к другу, однако хозяйственная спелость характеризуется более высоким возрастом. Она является более приемлемой для лесного хозяйства, так как отражает стоимостную оценку получаемой продукции, при этом достигается извлечение из леса максимального денежного дохода.

Ключевые слова: ель, лесопользование, средний прирост, спелость хозяйственная, таксы лесные, индексы цен.

P. V. Sevruck

Belarusian State Technological University

**DYNAMICS OF THE COST OF AVERAGE INCREASE OF TIMBER
AT CHANGE OF THE PRICE INDEX FOR TIMBER**

Based on the taxation data at sample plots for Spruce analysis of the moment advent of economic maturity age at different variants of timber value (“*lesnye taksy*”) (price index for different categories of wood raw materials). For timber value of the Republic of Belarus price index the following: large industrial wood – 3.89; medium – 2.25; small – 1.0; fuel wood and liquid from crown – 0.02. The value of price index affects the dynamics of the cost of average increase of timber. Age deviation of economic maturity to the analyzed variants of the cost from economic maturity age determined by the timber value in the Republic of Belarus do not exceed 10 years. Also worth noting that when the price of large and medium timber is approaching to small age of economic maturity will decrease and approach quantitative, and vice versa.

Sortimetric structure of used wood stock shows that on logging various sorts harvested and wood liquid are finding. From this, we can conclude that economic maturity is relevant for forestry practices. Ages of economic and technical maturity are close to each other, however, economic maturity characterized by a higher age. It is better for forestry because include the assessment of timber cost and achieves maximum monetary profit from the stand.

Key words: spruce, forest harvesting, average increase, economic maturity, timber value, price index.

Введение. Организация главного лесопользования в настоящее время базируется на спелостях леса. Действующие возраста рубки эксплуатационных лесов основаны на технической спелости – возраст, в котором наступает максимум среднего прироста целевых сортиментов (в качестве целевых сортиментов в расчете приняты крупная и средняя древесина) [1, 2].

Учет количественных показателей не в полной мере отражает экономическую эффективность. Необходимо учитывать качественные

показатели – цену продукции. Без учета данных показателей невозможна рациональная эксплуатация лесных ресурсов [3].

Хозяйственная спелость позволяет учитывать не только количественную, но и качественную динамику древостоя. В общем смысле хозяйственная спелость – возраст, в котором достигается максимум стоимости среднего прироста древесины. Классический метод расчета спелости предусматривает учет расходов на лесохозяйственную деятельность. Однако

вычет расходов не меняет момент наступления хозяйственной спелости, а лишь уточняет его [1, 2].

Сортиментная структура использованного древесного запаса по хвойным группам пород за 2012–2016 гг. [4] свидетельствует о том, что на всех видах рубок леса заготавливаются различные виды сортиментов, характеризующиеся разными техническими требованиями. Преобладающими видами сортиментов являются пиловочник и балансы, техсырье в общем объеме использования занимает от 4,9 до 13,0%. Кроме того, дровам принадлежит большая доля в общем объеме использования. В пределах анализируемого периода их доля варьируется от 28,8 до 39,3% (табл. 1). Следовательно, хозяйственную спелость следует более широко использовать в практике расчета возрастов рубки.

Стоит отметить, что хозяйственная спелость применялась в качестве базовой для расчета возрастов рубки вплоть до 1920-х гг., после чего она была отвергнута и расчеты стали базироваться на натуральных показателях технической и количественной спелости [5, 6].

Н. П. Анучин отмечал, что при правильном построении цен на лесную продукцию возрасты технической и хозяйственной спелости совпадают или близки друг к другу [7]. Наши расчеты [8–11] подтвердили данное утверждение. Возраста хозяйственной и технической спелости близки друг к другу, однако хозяйственная

спелость характеризуется более высоким возрастом, так как на ее динамику оказывает влияние качество древесины [1].

Учет качественных изменений в лесном фонде выполняется с помощью цен на продукцию лесохозяйственного производства – лесные таксы на древесину, отпускаемую на корню [12]. Уровень лесных такс должен обеспечивать полную компенсацию затрат на лесное хозяйство [7].

Н. Я. Судачков предложил оценивать уровень лесных такс через индексы цен различных категорий древесного сырья (крупная, средняя и мелкая деловая древесина, дрова и ликвид из кроны) на основании цены мелкой деловой древесины [13]. Для единой линии роста соотношения стоимости различных категорий древесного сырья будут отражать качественные изменения [14].

Цель исследования – проанализировать изменение возраста хозяйственной спелости ели при различных индексах цен.

Основная часть. В качестве экспериментального материала выступали данные таксации древостоев на 316 пробных площадях, в которых имеется еловый элемент леса в возрасте 40 лет и старше. Все пробные площади были сгруппированы по классам бонитета. На базе I^a–II классов бонитета были сформированы две группы по полноте на пробной площади – 0,7 и менее; 0,8 и более.

Таблица 1

Сортиментная структура использованного древесного запаса за 2012–2016 гг.

Объем использования лесосырьевых ресурсов	Годы				
	2012	2013	2014	2015	2016
Всего использовано, тыс. м ³	6875,4	7597,9	8718,4	9343,4	10685,1
В том числе:					
пиловочник	2650,0	2726,4	3299,1	3578,2	3846,5
баланси	1040,2	1461,6	1595,6	1883,8	2095,8
техсырье	352,9	373,0	629,3	850,4	1384,7
дрова	2701,5	2890,1	2980,2	2756,2	3078,9

Таблица 2

Индексы цен по различным категориям древесного сырья ели

Варианты цен	Индексы цен по различным категориям древесного сырья			
	крупная деловая	средняя деловая	мелкая деловая	дрова и ликвид из кроны
Лесные таксы, действующие в Республике Беларусь	3,89	2,25	1,0	0,02
Лесные таксы Российской Федерации	2,8	2,0	1,0	0,22
Будущий уровень лесных такс	6,0	2,5	1,0	0,02

Для сравнения использованы следующие индексы цен (табл. 2):

– лесные таксы, действующие в Республике Беларусь [12];

– лесные таксы Российской Федерации [15]. Использовались лесные таксы II лесотаксационного пояса Российской Федерации (в том числе Брянская, Калужская, Смоленская области);

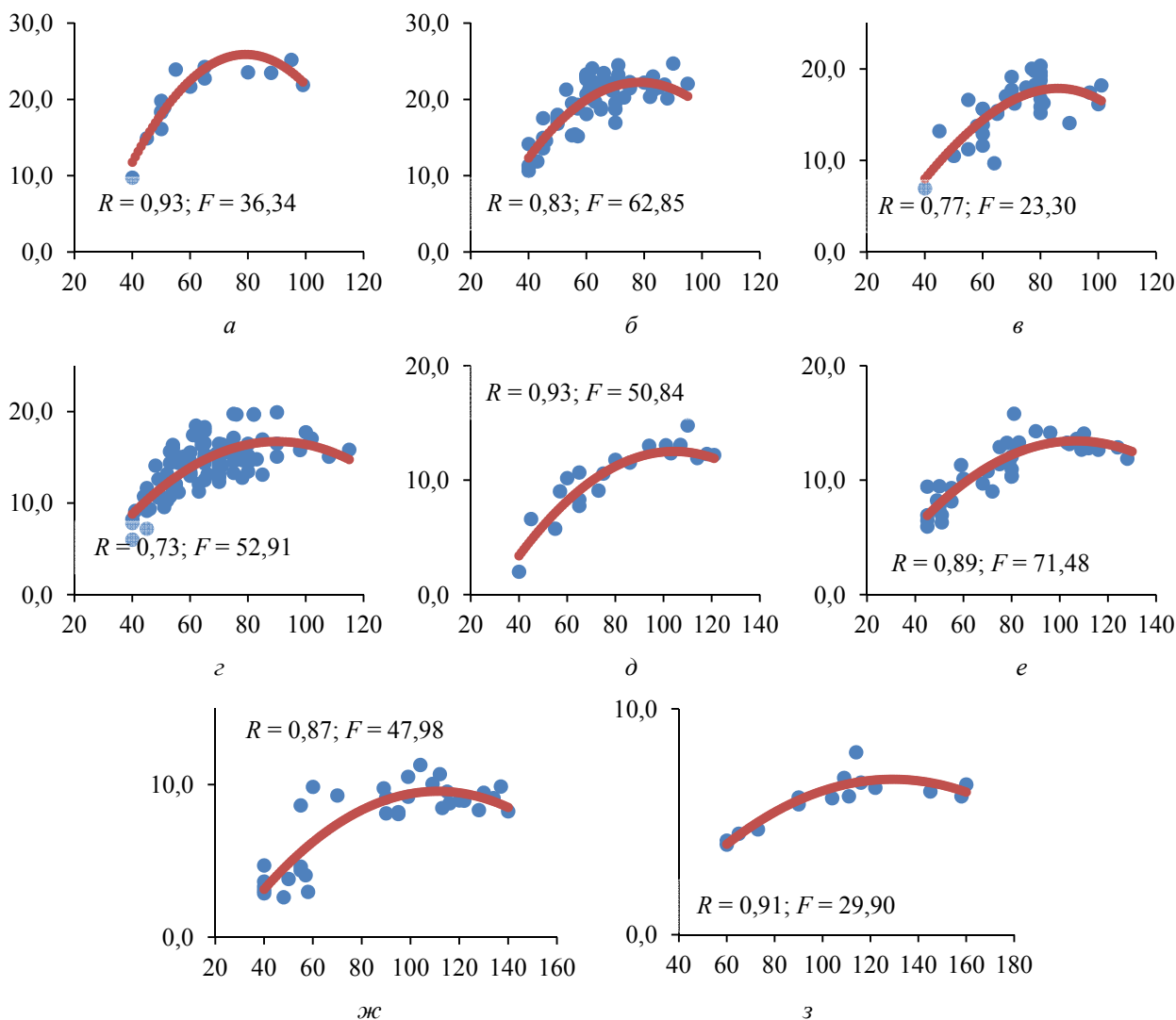
– будущий уровень лесных такс, учитывающий тенденцию роста цены на крупную древесину. Н. П. Демид [14] предложил использовать лесные таксы, близкие к рыночным ценам начала XX в. [16].

Для трех вариантов цен по каждой группе экспериментального материала были определены динамика стоимости среднего прироста древесины и возраст наступления максимума (спелости).

Пример динамики хозяйственной спелости для индексов, рассчитанных по лесным таксам, действующим в нашей стране, представлен на рисунке.

Сравнительная характеристика возрастов хозяйственной спелости по анализируемым вариантам индексов цен различных категорий древесного сырья приведена в табл. 3. Для контроля дан также возраст наступления технической спелости (по крупной и средней древесине).

Наши расчеты свидетельствуют о том, что величина индексов цен непосредственно влияет на возраст наступления спелостей, учитывающих качество получаемых сортиментов. Чем меньше цена крупной и средней древесины, тем возраст хозяйственной спелости меньше, и наоборот.



Динамика стоимости среднего прироста древесины по разным группам экспериментального материала:

а – I^а класс бонитета (полнота 0,7 и менее); *б* – I^а класс бонитета (полнота 0,8 и более);

в – I класс бонитета (полнота 0,7 и менее); *г* – I класс бонитета (полнота 0,8 и более);

д – II класс бонитета (полнота 0,7 и менее); *е* – II класс бонитета (полнота 0,8 и более);

ж – III класс бонитета; *з* – IV класс бонитета

Таблица 3

Возраст хозяйственной спелости при различных индексах таксовых цен, лет

Варианты цен	I ^a 0,7 и <	I ^a 0,8 и >	I 0,7 и <	I 0,8 и >	II 0,7 и <	II 0,8 и >	III	IV
Республика Беларусь	79	78	86	90	104	107	111	129
Российская Федерация	76	74	82	83	98	97	106	122
Будущий уровень	82	83	91	96	109	111	118	138
Техническая спелость (средний прирост целевых сортиментов)								
Крупная и средняя древесина	74	73	81	84	96	101	109	126

Разница между возрастными хозяйственной спелости, определенными по различным вариантам индексов лесных такс (индексы цен Российской Федерации и будущий уровень индексов цен), и возрастом хозяйственной спелости, определенным по индексам лесных такс, действующих в Беларуси, по различным группам экспериментального материала не превышает 10 лет.

При приближении индексов цен крупной и средней деловой древесины к мелкой возраст хозяйственной спелости будет приближаться к количественной спелости (максимум среднего прироста по запасу стволовой древесины).

Заключение. В настоящее время возраста рубки установлены на основе технической спелости (возраст, в котором наступает максимум среднего прироста целевых сортиментов (крупной и средней древесины)).

Хозяйственная спелость позволяет учитывать как количественные, так и качественные показатели древостоя. Сортиментная структура использования древесного запаса свидетельствует о том, что во время проведения рубок заготавливаются различные виды сортиментов, характеризующиеся разными техническими требованиями.

Учет качественных показателей выполняется с помощью цен на древесину. В нашей стране используются лесные таксы на древесину основных пород, отпускаемую на корню.

Уровень лесных такс на древесину можно оценить через индексы цен различных катего-

рий древесного сырья по отношению к мелкой деловой древесине. В настоящее время для ели сложился следующий уровень индексов цен:

- крупная деловая древесина – 3,89;
- средняя деловая древесины – 2,25;
- мелкая деловая древесина – 1,0;
- дрова и ликвид из кроны – 0,02.

При изменении индексов цен возраст хозяйственной спелости будет изменяться. Соответственно, если индексы цен будут уменьшаться, то возраст наступления максимума стоимости среднего прироста древесины также будет уменьшаться, и наоборот (табл. 3).

Кроме того, чем ближе цена крупной и средней деловой древесины к мелкой, тем возраст хозяйственной спелости будет приближаться к возрасту количественной спелости (обеспечивает получение наибольшего количества древесного запаса с 1 га в среднем за год без учета качества древесного сырья).

Количественная спелость в эксплуатационных лесах может выступать в качестве нижнего предела возраста рубки.

Для установления возрастов рубки в эксплуатационных лесах следует использовать техническую и хозяйственную спелость. Хозяйственная спелость характеризуется более высокими возрастными чем техническая, но данные возраста близки друг к другу. Близость возрастов двух спелостей свидетельствует о том, что действующие цены на древесину соответствуют спросу и предложению, т. е. рыночным ценам.

Литература

1. Ермакоў В. Я., Атрошчанка А. А., Дзямід М. П. Лесаўпарадкаванне: падручнік для студэнтаў вышэйшых навучальных устаноў па спецыяльнасці «Лясная гаспадарка». Выд. 4-е. Мінск: БДТУ, 2002. 500 с.
2. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси: история, современное состояние, проблемы и перспективы. Минск: Беларуская навука, 1996. 366 с.
3. Янушко А. Д. Лесное хозяйство (история, экономика, проблемы и перспективы развития). Минск: БГТУ, 2001. 248 с.
4. Сведения о заготовке древесины и использовании лесосырьевых ресурсов за 2012–2016 гг. по Минлесхозу [Электронный ресурс]. Минск: Белгослес, 2016. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. Камаев В. А. Спелость леса в условиях рыночной экономики // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 1–30 ноября 2001 г. / Брянская гос. инженерно-технол. академия; ред.: Сиваков В. В. [и др.]. Брянск, 2001. С. 114–116 с.

6. Свалов Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 216 с.
7. Анучин Н. П. Теория и практика организации лесного хозяйства. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 176 с.
8. Машковский В. П., Севрук П. В. Техническая и хозяйственная спелость еловых древостоев // Труды БГТУ. 2016, № 1: Лесное хоз-во. С. 14–18.
9. Машковский В. П., Севрук П. В. Оценка потерь в запасе и стоимости древесины от несвоевременного поступления ели в рубку главного пользования // Сб. науч. трудов НАН Беларуси, Ин-т леса. 2016. Вып. 76: Проблемы лесоведения и лесоводства. С. 345–353.
10. 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 переработка обновляемых ресурсов. С. 31–36.
11. Машковский В. П., Севрук П. В. Анализ хозяйственной и технической спелости в ельниках по классам бонитета Сб. науч. трудов НАН Беларуси, Ин-т леса. 2017. – Вып. 77: Проблемы лесоведения и лесоводства. С. 313–322.
12. Об установлении таксовой стоимости на древесину основных лесных пород, отпускаемую на корню, в 2018 году [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 декабря 2017 г., № 1033 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: http://pravo.by/upload/docs/op/C21701033_1515013200.pdf. Дата доступа: 19.03.2018.
13. Судачков Е. Я. Спелость леса. Ленинград: Гослесбумиздат, 1957. 52 с.
14. Демид Н.П. Методические подходы и техника определения спелостей на древесину // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2002. Вып. X. С. 109–113.
15. Лазарев А. С., Павлова Л. П. Лесной доход. М.: Финстатинформ, 1997. 261 с.
16. Орлов М. М. Очерки лесоустройства в его современной практике. М.: Новая деревня, 1924. 352 с.

References

1. Ermakou V. Ya., Atroshchanka A. A., Dzyamid M. P. *Lesauparadkavanne* [Forest Inventory]. Minsk, BGTU Publ., 2002. 500 p.
2. 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.
3. Yanushko A. D. *Lesnoye khozyaystvo (istoriya, ekonomika, problemy i perespektivy razvitiya)* [Forestry (History, Economy, Problems and Prospects of Development)]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 248 p.
4. *Svedeniya o zagotovke drevesiny i ispol'zovanii lesosyr'yevykh resursov za 2012–2016 gg. po Minleskhoz* [Information on Timber Harvesting and Use of Forest Resources for 2012-2016 on the Ministry of Forestry] [Electronic resources]. Minsk, Belgosles Publ., 2016. 1 el. opt. disk (CD-ROM).
5. Kamaev V. A. [Forest Maturity in a Market Economy]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. ("Lesnoy kompleks: sostoyaniye i perspektivy razvitiya")* [Materials of the International Scientific and Practical Conference ("Forest Complex: State and Development Prospects")]. Bryansk, 2001, pp. 114–116 (In Russian).
6. Svalov N. N. *Modelirovaniye proizvoditel'nosti drevostoyev i teoriya lesopol'zovaniya* [Modeling of Forest Stand Productivity and the Theory of Forest Management]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1979. 216 p.
7. Anuchin N. P. *Teoriya i praktika organizatsii lesnogo khozyaystva* [Theory and Practice of Forest Management]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1977. 176 p.
8. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. The Technical and Economic Maturity of Spruce Stands. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2016, no. 1: Forestry, pp. 14–18 (In Russian).
9. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. Loss Assessment of Volume and Cost of Wood from Late Delivery of Spruce in the Cutting. *Sbornik nauch. trudov NAN Belarusi, In-t lesa* [Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forest Institute], 2016, no. 76: Problems of Forest Science and Forestry, pp. 345–353 (In Russian).
10. 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* [Proceeding of BSTU], 2017, no. 1: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 31–36 (In Russian).
11. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. Analysis of Economic and Technical Maturity in Spruce by Scale Index. *Sbornik nauch. trudov NAN Belarusi, In-t lesa* [Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forest Institute], 2017, no. 77: Problems of Forest Science and Forestry, pp. 313–322 (In Russian).

12. *Ob ustanovlenii taksovoy stoimosti na drevesinu osnovnykh lesnykh porod, otpuskaemuyu na kornyu, v 2018 godu* [On the Establishment of Timber Value for Wood of the Main Forest Species, which is Allowed to be Planted, in 2018]. Available at: http://pravo.by/upload/docs/op/C21701033_1515013200.pdf (accessed 19.03.2018).

13. Sudachkov E. Ya. *Spelost' lesa* [Forest Maturity]. Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1957. 52 p.

14. Demid N. P. Methodological Approaches and Techniques for Determining the Maturity of Wood. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series 1, Forestry, 2002, issue X, pp. 109–113 (In Russian).

15. Lazarev A. S., Pavlova L. P. *Lesnoy dokhod* [Forest Income]. Moscow, Finstatinform Publ., 1997. 261 p.

16. Orlov M. M. *Ocherki lesoustroystva v yego sovremennoy praktike* [Essays on Forest Inventory in its Modern Practice]. Moscow, Novaya derevnya Publ., 1924. 352 p.

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Поступила 31.03.2018

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

УДК 630*5:612

В. Ф. Багинский¹, О. В. Лапицкая²

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

²Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

ЗАПАС ДЕПОНИРОВАННОГО УГЛЕРОДА КАК ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЭКОЛОГИЗИРОВАННОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

Показано, что в настоящее время возраст рубки леса, который определяется величиной количественной и технической спелости, недостаточно учитывает проблемы экологизации лесопользования. Для решения этой проблемы необходимо использовать спелости леса экологической природы. Спелости леса, которые сегодня учитывают проблемы экологии, применяют водоохранные, почвозащитные, санитарно-гигиенические и другие функции леса. Все эти функции важны, но они имеют локальное значение. Экологической функцией леса, имеющей глобальное значение, является депонирование диоксида углерода. Нами разработана новая спелость леса, названная экологической, которая базируется на максимизации депонирования углерода и зависит от максимальной величины среднего прироста насаждений за оборот рубки. Экологическая спелость леса – это состояние насаждений, обусловленное их возрастом, в котором достигается максимальная экологическая эффективность постоянного лесопользования. Она характеризуется максимальной среднегодовой производительностью лесов, которая выражается через максимум среднего прироста. На примере сосновых лесов Беларуси показано, что экологическая спелость леса колеблется в пределах от 105 лет в I^a бонитете до 140 лет в V бонитете. Принимая во внимание возраст экологической спелости и руководствуясь теорией нормального леса, было рассчитано оптимальное распределение сосновых древостоев Беларуси по классам возраста, что обеспечит максимальное накопление диоксида углерода сосновыми лесами.

Ключевые слова: возраст рубки, спелость леса, класс возраста, средний прирост, диоксид углерода, экологическая спелость леса.

V. F. Baginsky¹, O. V. Lapitskaya²

¹ Francisk Skorina Gomel State University

² Sukhoi State Technical University of Gomel

STOCK OF DEPOSITED CARBON AS AN ORGANIZATIONAL ELEMENT ENVIRONMENTAL FOREST USE

It is shown that at present the age of logging, which is determined by the amount of quantitative and technical ripeness, does not sufficiently take into account the problems of forest management ecologization. To solve this problem it is necessary to use the ripeness of the forest of the ecological nature. Forest ripeness today takes into account the problems of ecology water protection, soil-protective, sanitary-hygienic and other functions of the forest are used. All these functions are important, but they have a local meaning. The ecological function of a forest of global significance is the deposition of carbon dioxide. We have developed a new ripeness of the forest, called ecological, which is based on the maximization of carbon deposition, which depends on the maximum value of the average increment in plantations per logging turnover. The ecological ripeness of the forest is the state of plantations, due to their age, in which the maximum ecological efficiency of permanent forest management is achieved. It is characterized by a maximum annual average forest productivity, which is expressed through a maximum of average growth. The example of pine forests of Belarus shows that the ecological ripeness of forest ranges from 105 years in I bonitete to 140 years in V bonitete. Based on the age of ecological ripeness and guided by the theory of normal forest, the optimum distribution of pine stands of Belarus by age classes was calculated, which will ensure the maximum accumulation of carbon dioxide from pine forests.

Key words: age of felling, ripeness of forest, age class, average increment, carbon dioxide dioxide, ecological ripeness of forest.

Введение. Расчетная лесосека по главному пользованию в Беларуси за последние годы постоянно увеличивается. В настоящее время она приближается к 12 млн м³, а к 2030 г. должна возрасти до 15–16 млн м³. При организации главного пользования в основу положен принцип непрерывности, неистощительности и постоянства лесопользования. Одним из главных организационно-технических элементов лесопользования является возраст и оборот рубки [1].

Возраст рубки устанавливается на основании спелостей леса. В настоящее время основными спелостями для определения возраста рубки являются количественная и техническая спелости. В то же время современные требования к лесопользованию характеризуются наличием экологической составляющей.

Возраст рубки – исходный показатель для распределения древостоев по классам возраста. Теорией нормального леса требуется, чтобы площади древостоев по классам возраста были относительно равномерны. При этом достигается оптимальный выход древесины с единицы площади за весь оборот рубки.

В связи с тем, что изменение климата стало общемировой проблемой, всеми странами принимаются меры по увеличению депонирования диоксида углерода. Беларусь активно участвует в мероприятиях по сокращению выброса парниковых газов и связывания диоксида углерода растительностью. Связывание диоксида углерода в наибольшей степени зависит от наличия лесов, их возрастной структуры и продуктивности. Поэтому при организации лесопользования нам необходимо учитывать не только запасы древесины, но и объемы депонированного углерода.

Лесоустройством разработаны различные спелости леса [1]. В то же время многие проблемы в данной области изучены недостаточно. В первую очередь, к ним относятся экономические и экологические аспекты спелостей леса.

При расчете спелостей леса до недавнего времени не учитывался один из важнейших показателей, определяющих полезности леса, – депонирование углерода. Поэтому нами была разработана специальная экологическая спелость, принимающая во внимание этот фактор.

В представленной работе основное внимание при разработке спелостей леса уделено именно вопросам накопления углерода в древостоях. В качестве модельных насаждений приняты сосновые древостои, которые занимают более 51% площади всех лесов Беларуси. Именно для сосновых древостоев рассчитали оптимальную возрастную структуру исходя из максимизации накопления углерода.

Основная часть. Многообразие экологических функций леса приводит к большому числу категорий лесов. В бывшем СССР их было 25. В Беларуси в силу относительно меньшей вариативности климатических и геоморфологических условий предусмотрено выделение в лесном фонде меньшего количества категорий лесов [1].

Многообразие категорий лесов приводит к большому количеству спелостей, имеющих экологическое содержание: водоохранная, защитная, санитарно-гигиеническая и т. д. Сведения о возрастах экологических спелостей (их часто называют специальными) противоречивы.

Многообразие спелостей экологического содержания затрудняет осуществление обобщенного экологического подхода к лесопользованию в лесах, отнесенных к категориям экологической природы, а многообразие критериев не позволяет выделить главную экологическую компоненту при определении возраста спелости как конструирующего элемента системы экологизированного лесопользования.

Как пишет А. В. Неверов [2], единый процесс воспроизводства природных ресурсов разделен между сферой материального производства и экологической. Там же отмечено, что экономические стороны воспроизводства надо изучать с экологических позиций.

В этой системе спелость леса – один из основных конструирующих элементов организации экологизированного лесопользования. Она определяет не только время воспроизводства лесных ресурсов, но и запас древостоев разного возраста, обеспечивающих непрерывное и постоянное лесопользование на обозначенном пространстве. Только в этом случае лес как стабилизатор экологических условий может рассматриваться с позиций географии, лесистости региона, экономического направления производительных сил и степени соответствия древесных пород в их пространственно-возрастной структуре условиям жизнеобеспечения страны и региона [2, 3]. Поэтому целесообразно иметь не множество критериев спелости, а один достаточно универсальный показатель.

Этот показатель должен служить для расчетов эколого-экономических эффектов в разных вариантах эколого-экономической оценки природоохранной и природоэксплуатационной деятельности с учетом пространственно-временного фактора.

В условиях Беларуси требуется многоцелевое использование лесных насаждений путем сочетания на одной площади многообразных функций одноцелевых лесов. Так, все насажде-

ния выполняют водоохранную и защитную функции, являются источником древесины и других ресурсов, служат местом отдыха и оздоровления [3, 4]. Занимаясь выбором универсального показателя экологической спелости и анализируя современную экологическую ситуацию, видим, что и защитные, и водоохранные, и санитарно-гигиенические свойства леса распространяются на некотором локальном уровне, в пределах от относительно небольшого района до региона, занимающего значительную площадь.

Наиболее значимая, планетарная роль лесных насаждений заключается в их возможности депонировать диоксид углерода и производить атомарный кислород. При этом важнейшим является связывание CO_2 . Дефицит кислорода человечеству пока не грозит, хотя его выделение находится в тесной корреляции с поглощением углекислого газа. Но с последним связаны тепловые изменения на планете. Увеличение содержания CO_2 в атмосфере за последние 50 лет составило 25% [5].

Изъятие CO_2 из атмосферы возможно только путем фотосинтеза. Решающий вклад в этот процесс вносят леса.

Таким образом, главная экологическая функция леса – это депонирование CO_2 . При этом наибольшего эффекта можно добиться, если действует схема нормального леса с достаточно высоким оборотом рубки.

Принятие единого критерия экологической спелости через показатели связывания CO_2 удобно еще и тем, что оно определяется величиной запаса древостоя и его прироста. Последние таксационные показатели насаждения имеют прямую корреляцию с величиной других экологических полезностей леса.

В настоящее время разработаны коэффициенты экологической эффективности леса, выражающие его экологическую полезность в интегральном виде [6]. В этом случае находят относительные коэффициенты каждой полезности из сочетания их некоторой множественности. Каждый коэффициент – это отношение в процентах от некоторых предельных величин полезностей, принятых за эталоны. Названные коэффициенты зависят от древесной породы, района произрастания, полноты, возраста и других факторов. Корреляционный анализ этих величин, проведенный нами, показал, что определяющим компонентом является депонирование CO_2 . Связи этого показателя с выделением O_2 , биологически активных веществ (санитарно-гигиенические функции), пылезадержанием (противоэрозионная функция), с древесным запасом и приростом, а также с коэффициентом экологической эффективности имеют очень

высокие и достоверные коэффициенты корреляции. Для отдельных аргументов наблюдается почти функциональная зависимость. Несколько менее тесная, но тоже достаточно высокая корреляция прослеживается с выделением биологически активных веществ, так как здесь большое значение имеет древесная порода [7].

Из математической статистики известно, что при наличии высокой корреляции между факторами-аргументами они должны исключаться из уравнения множественной регрессии. В этом случае в уравнении остается один ведущий аргумент. Поэтому мы имеем полное основание установить количественную связь экологических полезностей леса с одним интегральным показателем – связыванием CO_2 и кладем этот фактор в основу установления экологической спелости леса.

Таким образом, принимая за основу возраст экологической спелости депонирование CO_2 , мы «накрываем» практически все остальные экологические полезности леса. Здесь остается проблема верного определения самой экологической спелости. Необходимо, чтобы ее величина соответствовала максимальной реализации всех других полезностей, а это возможно при достаточно высоком возрасте.

Следовательно, экологическая спелость леса – это состояние насаждений, обусловленное их возрастом, в котором достигается максимальная экологическая эффективность постоянного лесопользования. Она характеризуется максимальной среднегодовой производительностью лесов, которая выражается через максимум среднего прироста. Этот показатель аккумулирует процесс воспроизводства запаса леса, обуславливая постоянное лесопользование на конкретной территории в аспекте положения «время – пространство». Особое внимание следует уделить именно последнему фактору, т. е. «время – пространство». Рассматривая лесные насаждения в дискретном состоянии, т. е. разрывая описанную связь «пространство – время», приходим к оценке лишь отдельного древостоя. В этом случае максимум среднего прироста приводит к количественной спелости [1, 7]. Для удовлетворения сырьевых и экологических потребностей общества в лесных продуктах необходимо использование всей территории лесного фонда в его пространственно-временной взаимосвязи. Поэтому отыскание максимальной величины среднего прироста необходимо выполнить не для отдельного древостоя, а для их совокупности в пределах хозсекции.

Известно, что точкой отсчета для распределения древостоев по группам возраста является принятый возраст рубки. Изменения возраста

спелости и возраста рубки приводят к новому распределению по группам возраста и влекут за собой различные площади групп возраста. При меньшем обороте рубки ежегодно вырубается площадь больше, чем при более высоком. Следствием этого является изменение среднего прироста на территории, примерно равной площади крупного лесхоза.

Возраст экологической спелости нашли, выполнив имитационное моделирование изменения среднего прироста совокупности древостоев. Для этого вычислили значения среднего прироста при разной возрастной структуре при допущении наличия здесь нормального леса. Именно на такой модели наиболее наглядно можно увидеть изменение среднего прироста совокупности насаждений при разном обороте рубки. Для примера приведем величину среднего прироста для всех древостоев хозсекции во II классе бонитета при разных возрастах рубки (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что наибольший средний прирост всей сосновой хозсекции II класса бонитета наблюдается в возрасте от 100 до 120 лет (в среднем 110 лет). Следовательно, наибольший суммарный запас древесины всей хозсекции в данном случае тоже будет в этом возрасте. Таким образом, наибольшее количество накопленного углерода в исследуемых сосняках также будет в возрасте от 100 до 120 лет. Подобные расчеты, сделанные путем имитационного моделирования для всех классов бонитета, позволили вычислить экологическую спелость сосновых древостоев. В силу их большого объема и того, что эти данные неоднократно опубликованы [7, 8], здесь они опускаются. Вычисленные возрасты экологической спелости приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что возраст экологической спелости наступает в возрасте значительно более высоком, чем количественная спелость. Это происходит из-за того, что меняется пространственно-возрастная структура насаждений. При обороте рубки в 60–80 лет большой удельный вес занимают молодняки I класса возраста, в которых запасы этой группы возраста низкие. При обороте рубки 140–160 лет преобладают насаждения с замедленным приростом. Поэтому наибольший среднегодовой прирост совокупности насаждений наблюдается в основном от 100 до 140 лет, т. е. когда на некоторой территории соблюдается оптимальное сочетание древостоев I, II, III, IV, V и VI классов возраста.

Анализ экологической спелости показывает, что она примерно на класс возраста выше возраста рубки в эксплуатационных лесах и соответствует возрастам рубки в категориях лесов экологического профиля. Если исклю-

чить насаждения сосны по болоту IV и V классов бонитета, то за возраст экологической спелости можно принять VI класс возраста, в пределах которого лежат возрасты экологической спелости от I^a до III классов бонитета. Именно VI класс возраста может быть принят для расчета оптимальной возрастной структуры древостоев по максимальному депонированию диоксида углерода.

Возрастная структура сосновых древостоев Беларуси несовершенна. В силу истощительных рубок довоенного, военного и послевоенного времени резко уменьшилось количество спелых древостоев. Вследствие невысокой расчетной лесосеки по главному пользованию за последние 40 лет значительно снизилось количество молодняков. Современная возрастная структура сосновых древостоев по данным лесного кадастра на 01.01.2017 года показана в табл. 3.

Мы видим, что в настоящее время преобладают средневозрастные насаждения при недостатке молодняков и спелых древостоев.

Исходя из теории нормального леса, оптимальная возрастная структура при современных возрастах рубок приведена в табл. 4.

Анализ табл. 4 показывает, что при действующих возрастах рубки в эксплуатационных лесах должно быть 43% молодняков, средневозрастных – 20%, приспевающих – 19% и спелых – 18%.

В категориях лесов экологической природы, в которых возраст рубки составляет 101–120 лет, в состав средневозрастных насаждений входят насаждения 3–4-го классов возраста. В результате оптимальное количество древостоев по группам возраста следующее, %: 35 молодняков, средневозрастных – 33, приспевающих – 16 и спелых – 16.

Оптимальное количество древостоев по классам возраста имеет некоторую асимметрию в сторону молодняков. Дело в том, что в процессе роста леса часть молодняков или средневозрастных древостоев неизбежно вырубается в силу стихийных бедствий или других причин. Мы должны иметь в спелом возрасте достаточное количество древостоев, пригодных к рубке.

Выше было показано, что экологическая спелость сосновых древостоев от I^a до III бонитета лежит в пределах 6-го класса возраста. Поэтому оптимальная возрастная структура сосновых древостоев, рассчитанная по оптимальному депонированию углерода, соответствует природоохранным категориям табл. 2.

В низкбонитетных древостоях в силу их более высокой экологической спелости оптимальная возрастная структура несколько иная, %: I класс – 17, II – 16, III – 15, IV – 14, V – 13, VI – 13, VII – 12.

Таблица 1

Средний прирост на 1 га по хозсекции в сосновых древостоях II класса бонитета при разных возрастах рубки

Возраст рубки, лет	Средний прирост по хозсекции, м ³ /га	
	нормальные древостои	модальные древостои
60	4,18	3,19
80	4,39	3,20
100	4,62	3,28
120	4,64	3,28
140	4,59	3,08
160	4,48	2,93

Таблица 2

Возрасты экологической спелости древостоев Беларуси

Возрасты экологической спелости (лет) по классам бонитета					
Нормальные древостои					
I ^a	I	II	III	IV	V
105	110	115	120	130	140

Таблица 3

Площади и запасы сосновых древостоев по группам возраста (%)

Группа возраста	Площадь	Запас
Молодняки	18,4	6,4
Средневозрастные	42,7	47,2
Приспевающие	28,0	33,8
Спелые и перестойные	10,9	12,6
<i>Итого</i>	100	100

Таблица 4

Оптимальное распределение лесов по классам возраста в Республике Беларусь (в процентах от площади, занимаемой данной породой) при действующих возрастах рубки

Порода	Возраст рубки	Классы возраста									Итого
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Категории лесов экологической природы											
C	101	18	17	17	16	16	16	–	–	–	100
Эксплуатационные леса											
C	81	22	21	20	19	18	–	–	–	–	100

Учитывая, что в этом случае к средневозрастным насаждениям будут отнесены древостои 3-го, 4-го и 5-го классов возраста, распределение по группам возраста будет выглядеть следующим образом, %: молодняки – 33, средневозрастные – 42, приспевающие – 13 и спелые – 12.

Учитывая, что насаждения низких классов бонитета накапливают значительно меньшее количество углерода и имеют невысокое хозяйственное значение, целесообразно для упрощения учета принять единую оптимальную возрастную структуру сосновых древостоев на принципах максимизации накопления углерода за весь период жизни насаждения, а именно, %:

молодняки – 35 (1-й класс возраста – 18, 2-й – 17), средневозрастные – 33 (3-й класс возраста – 17, 4-й – 16), приспевающие – 16 (5-й класс возраста – 16), спелые – 16.

Из вышеизложенного вытекает, что оптимальное накопление углерода в сосновых древостоях происходит при возрастной структуре лесов, когда возраст рубки соответствует экологической спелости (6-й класс возраста). Как показано выше, доля древостоев каждого класса возраста в этом случае должна быть следующей, %: 1-й класс возраста – 18, 2-й – 17, 3-й – 17, 4-й – 16, 5-й – 16, 6-й класс возраста – 16. Данная возрастная структура может быть дос-

тигнута постепенно за 30–40 лет, т. е. к 2050–2060 г. При этом между 2031 и 2050 г. придется несколько ограничить величину расчетной лесосеки.

Заключение. Обобщая вышеизложенное, приходим к следующим выводам.

1. В настоящее время возрастная структура сосновых древостоев не соответствует теории нормального леса, так как имеется большой недостаток молодняков и определенный недостаток спелых древостоев при преобладании средневозрастных насаждений. Даже оптимальное распределение древостоев по классам возраста в соответствии с теорией нормального леса при действующих возрастах рубки не гарантирует максимальное накопление углерода в силу того, что возрасты рубки установлены по технической спелости на крупную и среднюю деловую древесину и не отражают воз-

можность накопления максимальных запасов древесины по хозсекции за весь период жизни древостоя.

2. Максимальное накопление углерода в целом по сосновой хозсекции возможно при установлении возрастов рубки по экологической спелости. Экологическая спелость леса определяется по максимальному среднему приросту углерода за весь период жизни древостоя на всей площади хозсекции.

3. Экологическая спелость древостоев сосны соответствует 6-му классу возраста, т. е. 101–120 лет.

4. В соответствии с экологической спелостью леса и теорией нормального леса оптимальное распределение древостоев по классам возраста следующее, %: 1-й класс возраста – 18, 2-й – 17, 3-й – 17, 4-й – 16, 5-й – 16, 6-й класс возраста – 16.

Литература

1. Ермаков В. Е. Лесоустройство. Минск: Выш. шк., 1993. 256 с.
2. Неверов А. В. Экономика природопользования: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2009. 554 с.
3. Писаренко А. И. Экологические аспекты управления лесами России // Лесное хозяйство. 2000. № 3. С. 8–10.
4. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси. Минск: Беларуская навука, 1996. 367 с.
5. Программа адаптации лесного хозяйства к изменению климата на период до 2050 года. Минск: Минлесхоз Республики Беларусь, Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси. 2000. 150 с.
6. Кунцевалов М. А., Успенский В. В., Артюховский А. К. Коэффициенты экологической эффективности леса // Известия ВУЗов: Лесной журнал. 2000. № 2. С. 36–40.
7. Багинский В. Ф., Неверов А. В., Лапицкая О. В. Спелость леса в системе устойчивого природопользования // Труды БГТУ. Сер. VII: Экономика и управление. 2002. Вып. X. С. 207–216.
8. Лапицкая О. В. Эколого-экономические основы определения спелостей леса: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Минск, 2001. 21 с.

References

1. Ermakov V. E. *Lesoustroystvo* [Forest management]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1993. 256 p.
2. Neverov A. V. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Economics of Nature Management]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 554 p.
3. Pisarenko A. I. Ecological aspects of forest management in Russia. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry magazine], 2000, no. 3, pp. 8–10 (In Russian).
4. Baginskiy V. F., Esimchik L. D. *Lesopol'zovaniye v Belarusi* [Forest management in Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1996. 367 p.
5. *Programma adaptatsii lesnogo khozyaystva k izmeneniyu klimata na period do 2050 goda* [Program of adaptation of forestry to climate change for the period up to 2050]. Minsk, Minleskhoz Respubliki Belarus', Institut eksperimental'noy botaniki NAN Belarusi Publ., 2000. 150 p.
6. Kuntsevalov M. A., Uspenskiy V. V., Artykhovskiy A. K. Coefficients of forest ecological efficiency. *Izvestiya VUZov: Lesnoy zhurnal* [Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal], 2000, no. 2, pp. 36–40 (In Russian).
7. Baginskiy V. F., Neverov A. V., Lapitskaya O. V. Ripeness of forest in the system of sustainable nature management. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series VII, *Ekonomika i upravleniye*, 2002, issue X, pp. 207–216 (In Russian).
8. Lapitskaya O. V. *Ekologo-ekonomicheskiye osnovy opredeleniya spelostey lesa: Avtoref. dis. kand. ekon. nauk* [Ecological and economic basis for determining the ripeness of the forest. Abstract of thesis cand. of econ. sci.]. Minsk, 2001. 21 p.

Информация об авторах

Багинский Владимир Феликсович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры лесохозяйственных дисциплин. Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, Республика Беларусь). E-mail: BagVF@mail.ru

Лапицкая Ольга Владимировна – кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой «Маркетинг». Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого (246746, г. Гомель, пр-т Октября, 48, Республика Беларусь). E-mail: Olapitskaya@mail.ru

Information about the authors

Baginsky Vladimir Feliksovich – DSc (Agriculture), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, the Department of Forestry Disciplines. Francisk Skorina Gomel State University (104, Sovetskaya str., 246019, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: BagVF@mail.ru

Lapitskaya Ol'ga Vladimirovna – PhD (Economic), Associate Professor, Head of the Department of Marketing. Sukhoi State Technical University of Gomel (48, Oktyabrya, Ave., 246746, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: Olapitskaya@mail.ru

Поступила 16.04.2018

УДК 630*431.3+630*431.1

Г. Я. Климчик

Белорусский государственный технологический университет

**ДИНАМИКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ
В ЛЕСАХ РАЗЛИЧНЫХ ФОНДОДЕРЖАТЕЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

В статье рассматриваются вопросы динамики возникновения лесных пожаров на предприятиях Министерства лесного хозяйства и в Негорельском учебно-опытном лесхозе (НУОЛХ) – филиале Белорусского государственного университета (БГТУ) Министерства образования Республики Беларусь.

За период наблюдения с 1959 г. в НУОЛХ произошли 464 случая возникновения лесных пожаров на площади 468,02 га, средняя площадь пожара составила 1,01 га, что значительно ниже чем в гослесфонде Республики Беларусь (в среднем 1400 случаев на одно предприятие на площади 1970,05 га).

Несмотря на проведение различных профилактических мероприятий, лесопожарное районирование, лесные пожары возникают ежегодно, предотвратить или полностью исключить их в лесах Республики Беларусь невозможно.

Вероятность возникновения и распространение лесных пожаров определяется количеством и качеством горючих материалов, лесоводственно-таксационной характеристикой насаждений, условиями погоды, наличием источников огня. Четкой закономерности в наступлении пожарных максимумов не выявлено. Их появление непосредственно связано с условиями погоды и посещаемостью лесов населением.

Основная причина возникновения пожаров – несоблюдение правил пожарной безопасности во время работы и отдыха в лесу.

Ключевые слова: лесные пожары, горимость, лесной фонд, охрана леса.

G. Ya. Klimchik

Belarusian State Technological University

**DYNAMICS OF THE FIRE IN THE FOREST
OF VARIOUS FUNDS OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

The article deals with the dynamics of the occurrence of forest fires at the enterprises of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus and the Negoreloe Experimental Forestry (NUOLH) of the branch of the Belarusian State Technological University (BSTU).

During the observation period since 1959, 464 cases of forest fires occurred on the area of 468.02 hectares in the NUOLH, the average fire area was 1.01 hectares, which is much lower than in the state forest fund of the Republic of Belarus.

In the State Forestry Fund of the Republic of Belarus, on average, there were 1400 cases per enterprise on an area of 1970.05 hectares. Despite the carrying out various preventive measures, forest fire zoning, forest fires occur annually, it is impossible to prevent or completely exclude them in the forests of the Republic of Belarus.

The probability of occurrence and spread of forest fires is determined by the quantity and quality of combustible materials, forestry and taxation characteristics of plantings, weather conditions, and the presence of sources of fire. A clear pattern in the onset of fire highs was not revealed. The onset of fire maxima is directly related to weather conditions and the attendance of forests by the population.

The main reason of fires is non-compliance with fire safety rules during the work and rest in the forest.

Key words: forest fires, burning, forest fund, forest protection.

Введение. Одной из наиболее важных проблем интенсивного лесохозяйственного производства и рационального природопользования, вызывающих обеспокоенность органов управления, а также представителей науки, общественности и правительств различных государств, является заметное ухудшение состояния лесов. Это сопровождается повышением в 2–3 раза и более показателей формирования естественного опада в древостоях того или

иного возраста, накоплением запасов лесных горючих материалов в насаждениях различных классов возраста [1].

Существенное влияние на процесс накопления горючих материалов в лесных насаждениях имеет их исходная густота посадки и возрастная динамика полноты. В лесорастительных условиях Беларуси наблюдается прямая зависимость увеличения количества горючих материалов наземной группы в сосняках и ельниках

суходольных типов леса с повышением полноты и возраста [2–4].

Под пологом насаждений во время пожароопасного сезона формируется особый микроклимат, который определяет процессы увлажнения и высыхания лесных горючих материалов и является основным показателем, определяющим способность горючего материала к возгоранию [5–7].

На процесс созревания лесных горючих материалов влияет ряд метеорологических факторов. Это обусловлено тем, что горючие материалы, обладая гигроскопичностью, непрерывно изменяют свою пирологическую характеристику под воздействием окружающей среды [5, 8].

Заблаговременное предупреждение о возможности возникновения пожаров позволяет предотвратить или ослабить их последствия. Для этого необходимо выявлять все условия, способствующие их возникновению. Одним из важнейших звеньев охраны лесов от пожаров является противопожарное обустройство территории лесного фонда, установление его эффективности и разработки дифференцированной системы профилактических противопожарных мероприятий с учетом лесопожарного районирования территории Беларуси [9–11].

Несмотря на это, лесные пожары возникают ежегодно и повреждают компоненты насаждений лесного фонда. Специалисты охраны лесов от пожаров и исследователи данной проблемы давно убедились в том, что предотвратить или полностью исключить пожары в лесах Беларуси невозможно.

Основная часть. Лесной фонд Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2016 г. составляет 9549,2 тыс. га. Он находится в ведении семи органов государственного республиканского управления и государственных организаций. Это четыре Министерства Республики Беларусь: лесного хозяйства, обороны, чрезвычайных ситуаций, образования, а также Управление делами Президента Республики Беларусь, Национальная академия наук Беларуси и местные исполнительные органы. Лесистость составляет 39,7% [12]. Основными фондодержателями выступают Министерство лесного хозяйства (88%) и Управление делами Президента Республики Беларусь (7,9%). На остальные пять учреждений приходится 4,1% площадей лесного фонда.

Исследованиями В. В. Усени установлено, что в силу своего породного, возрастного и структурного состава, а также антропогенного воздействия все леса на территории Беларуси являются потенциально пожароопасными [13].

К наиболее высокопожароопасным (I–III классы природной пожарной опасности) отнесены

67,3% их площади. В лесном фонде насаждения I класса природной пожарной опасности занимают 6,7%; II – 26,1%; III – 34,5%; IV – 25,7% и V – 7,0 от общей площади лесных земель. Это обусловлено преобладанием хвойных лесов, на долю которых приходится 59,6 покрытых лесом земель [12].

Среди сосновых лесов легкозагораемые типы занимают 37,3%; среднезагораемые – 42,6%; труднозагораемые – 20,1%, среди еловых соответственно – 1,3; 80,1 и 18,6%. Высокой горимостью отличаются молодняки I класса возраста, осушенные территории, вырубки из-под суходольных сосняков, сильно поврежденные насаждения, несомкнувшиеся культуры и др. Кроме того, пожарная опасность в лесах может возрастать в результате действия лесохозяйственных, технических и организационных факторов.

Вероятность возникновения и распространения лесных пожаров определяется количеством и качеством горючих материалов, лесоводственно-таксационной характеристикой насаждений, условиями погоды, наличием источников огня. Общая масса потенциально наиболее опасных в пожарном отношении горючих материалов зависит от возраста, полноты, типа леса и продуктивности и колеблется в широких пределах. В пожароопасный сезон в легкозагораемых типах леса лесные горючие материалы (ЛГМ) имеют высокую пожарную готовность и при наличии источников огня легко воспламеняются.

Данные о динамике лесных пожаров в лесах Министерства лесного хозяйства за длительный период с 1959–1999 гг. свидетельствуют о том, что в среднем ежегодно возникают 2 747 пожаров на площади 3 357 га. Средняя площадь одного пожара составила 1,22 га. Всего в лесах Минлесхоза за 41 год зарегистрировано 112 630 пожаров. Поврежденная ими площадь составила 137 666 га. В течение анализируемого периода количество пожаров и поврежденная ими площадь варьировали в довольно широких пределах. Максимальное количество пожаров возникло в 1962 г., максимальная площадь, поврежденная пожарами, отмечена в 1959 и 1992 гг. Из общей площади, поврежденной пожарами за 41 год, на эти два года приходится 33,5%. Среднегодовой показатель горимости по площади за исследуемый период в 1959 и 1992 гг. был превышен соответственно в 7,1 и 6,6 раза. В эти годы на протяжении значительной части пожароопасного сезона комплексный показатель горимости по условиям погоды значительно превышал 10 000, а в 1972 г. – 22 000, что свидетельствует о чрезвычайной пожарной опасности. В таких случаях пожары выходят

из-под контроля и принимают характер катастрофических [14].

Начиная с 2000 г. за прошедшие 17 лет в лесах Минлесхоза зарегистрировано 24 604 случая лесных пожаров на площади 55 399,5 га. В среднем ежегодно возникало 1 447 пожаров на площади 3 259 га. Средняя площадь одного пожара составила 2,25 га (табл. 1).

Таблица 1
Сведения о лесных пожарах по Министерству
лесного хозяйства за 2000–2016 гг.

Год	Число пожаров	Общая площадь пожаров, га	Средняя площадь пожаров, га
2000	2 569	1 931	0,75
2001	1 111	442	0,40
2002	5 274	22 282	4,22
2003	2 027	4 363	2,15
2004	1 121	587	0,52
2005	1 114	345	0,31
2006	3 251	2 507	0,77
2007	1 079	759	0,70
2008	673	440,5	0,65
2009	1 485	1 709,5	1,15
2010	607	424	0,70
2011	433	156	0,36
2012	544	189	0,35
2013	272	73	0,27
2014	687	359	0,52
2015	2 087	1 8620	8,92
2016	270	212,5	0,79
Σ	24 604	55 399,5	2,25

В течение анализируемого периода количество пожаров и поврежденная ими площадь варьировали в довольно широких пределах. Максимальное количество пожаров приходится на 2000, 2002 гг. (45% всех случаев). Также выше средних ежегодных данных отмечены случаи возникновения пожаров в 2003 и 2015 гг. Площади, охваченные пожарами в эти годы, составили 22 282 и 18 620 га, что в 6,5 и 5,4 раза выше среднегодового показателя горимости. В 2002 и 2015 гг. отмечается и высокая средняя площадь пожара (4,22 и 8,92 га), что в 1,86 и 3,94 раза выше среднегодовых показателей.

По нашим исследованиям, повышенной горимостью отличались 1963–1964, 1966, 1971–1972, 1976, 1979, 1983–1984, 1995–1996 и 1999 гг. [14]. Среди зафиксированных пиков горимости лесов отмечены и относительно спо-

койные в пожарном отношении годы, в которые количество лесных пожаров было ниже среднего многолетнего.

Наступление пожарных максимумов непосредственно связано с условиями погоды и посещаемостью лесов населением. При продолжительных бездождевых периодах ЛГМ быстро достигали пожарной зрелости и при наличии источников огня легко воспламенялись – горение переходило в пожары. Четкой закономерности в наступлении пожарных максимумов не выявлено. Чаще всего они наблюдались через 2–3 года. Относительно низкой горимостью отличался семилетний период (1985–1991 гг.) и восьмилетний (2007–2014 гг.) периоды. Шесть раз за анализируемый период пожарные максимумы наступали два года подряд (1963–1964, 1971–1972, 1983–1984, 1995–1996, 1999–2000, 2002–2003 гг.).

Нет четкой закономерности по возникновению лесных пожаров и для отдельных предприятий лесного хозяйства и других фондодержателей. Так, в НУОЛХ за период наблюдения с 1959 г. произошло 464 случая возникновения лесных пожаров на площади 468,02 га, средняя площадь пожара составила 1,01 га, что значительно ниже, чем в гослесфонде Республики Беларусь (1400 случаев на одно предприятие на площади 1970,05 га) (табл. 2) [14, 15].

Таблица 2
Сведения о лесных пожарах
по НУОЛХ за 1959–2017 гг.

Годы	К-во	$S_{га}$	$S_{ср}$
1959	4	11,1	2,77
1960	–	–	–
1961	1	2,35	2,35
1962	–	–	–
1963	12	26,2	2,18
1964	32	63,08	1,97
1965	1	0,03	0,03
1966	–	–	–
1967	14	1,71	0,12
1968	13	14,34	1,10
1969	9	1,53	0,17
1970	10	1,23	0,12
1971	28	6,7	0,23
1972	11	4,43	0,40
1973	4	1,44	0,36
1974	2	0,17	0,08
1975	11	8,04	0,73
1976	7	2,02	0,28

Продолжение табл. 2

Годы	К-во	$S_{га}$	$S_{ср}$
1977	8	10,67	1,33
1978	3	0,87	0,29
1979	1	0,70	0,70
1980	5	2,27	0,45
1981	8	11,93	1,49
1982	2	5,16	2,58
1983	3	0,64	0,21
1984	6	1,96	0,32
1985	1	0,06	0,06
1986	6	3,17	0,52
1987	2	7,18	3,59
1988	7	3,97	0,56
1989	6	1,7	0,28
1990	11	9,76	0,88
1991	–	–	–
1992	37	77,08	2,08
1993	6	2,24	0,37
1994	8	1,89	0,23
1995	12	2,5	0,20
1996	7	2,45	0,35
1997	3	1,58	0,52
1998	1	2,5	2,5
1999	5	3,5	0,70
2000	17	12,14	0,71
2001	6	1,02	0,17
2002	27	30,0	1,11
2003	13	2,5	0,19
2004	10	0,37	0,04
2005	–	–	–
2006	42	112,52	2,67
2007	9	0,91	0,10
2008	14	0,60	0,04
2009	10	4,86	0,48
2010	1	0,3	0,3
2011	–	–	–
2012	1	0,9	0,9

Окончание табл. 2

Годы	К-во	$S_{га}$	$S_{ср}$
2013	1	0,05	0,05
2014	3	3,15	1,05
2015	2	0,41	0,20
2016	1	0,15	0,15
2017	–	–	–
Итого	464	511,76	1,1

Проведенные нами ранее исследования в гослесфонде и сейчас в НУОЛХ [16] показывают, что по времени возникновения лесных пожаров на протяжении суток наибольшее их число отмечено в период с 13 до 18 ч. В гослесфонде 72,5% случаев, в НУОЛХ – 58%. Этот период характеризуется повышенной готовностью лесных горючих материалов к воспламенению.

Верховых пожаров в НУОЛХ за период наблюдения возникло 17 (3,7%), которые охватили 114,45 га площади, что составляет 24,5% пройденной пожарами общей площади.

По количеству случаев возникновения преобладают низовые пожары (94,4%), торфяные составляют 1,9%. По площади, пройденной пожарами, преобладают пожары класса В (0,11 – 5,0 га) – 45,5% случаев.

Заключение. В современных условиях глобального потепления климата и урбанизации населения, развития дорожной сети, технической оснащённости населения вероятность возникновения лесных пожаров будет только возрастать.

Основная причина возгораний – несоблюдение правил пожарной безопасности во время работы и отдыха в лесу.

Большинство лесных пожаров приходится на ранневесенний и летний периоды, что связано с массовыми посещениями населением лесов в весенний период и в период созревания и сбора грибов и ягод.

Решение проблемы предупреждения и борьбы с лесными пожарами требует привлечения и взаимодействия специалистов различного профиля знаний и организационной направленности.

Литература

1. Сарнацкий В. В. Некоторые особенности ведения лесного хозяйства в условиях периодического экстремального появления экологических факторов // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2009. Вып. XVII. С. 65–68.
2. Усеня В. В., Коткова Е. Н., Ульдинович С. В. Лесная пирология. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. 264 с.
3. Софронов М. А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 152 с.
4. Рыхтэр І. Э. Лясная піралогія з асновамі радыёэкалогіі. Мінск: БГТУ, 2006. 396 с.
5. Климчик Г. Я., Усеня В. В., Гордей Н. В., Мухуров Л. И. Загораемость лесных горючих материалов в сосновых насаждениях // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. труд. ИЛ НАН Беларуси. 2012. Вып. 72. С. 455–461.

6. Кастырина Т. В. Исследование пожарного созревания некоторых типов леса на юге Хабаровского края // Проблемы лесной пирологии. 1975. С. 29–43.
7. Климчик Г. Я., Усеня В. В., Соевич Ф. Ф., Мухуров Л. И. Особенности пиротехнической характеристики загораемости лесных горючих материалов в сосняках // Труды БГТУ. 2012. № 1 (148): Лесное хоз-во. С. 90–92.
8. Шешуков М. А., Стародумов А. М. Влияние некоторых факторов среды на скорость высыхания и увлажнения лесных горючих материалов. Красноярск: ИЛИД СО АН СР, 1973. С. 44–55.
9. Каткова Е. Н. Анализ эффективности профилактических противопожарных мероприятий в лесном фонде Беларуси // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 111–112.
10. Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь: ТКП 193–2009 (02080). Введ. впервые. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. 12 с.
11. Усеня В. В., Чурило Е. В., Коновалова Е. А. Оценка уровня горимости лесных формаций на территории Беларуси // Труды БГТУ. 2012. № 1 (148): Лесное хоз-во. С. 121–123.
12. Лесной Кодекс Республики Беларусь: принят Палатой представителей 24 дек. 2015 г. Минск: Амалфея, 2016.
13. Усеня В. В. Современные методы и средства охраны лесов от пожаров и ликвидации их последствий в Республике Беларусь // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. 2015. Вып. 75. С. 596–609.
14. Рихтер И. Э., Мыслейко Н. Г., Климчик Г. Я. Пожарная опасность и горимость лесов Минлесхоза Беларуси // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2000. Вып. VIII. С. 151–157.
15. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси. 2002. 206 с.
16. Климчик Г. Я., Усеня В. В., Гордей Н. В., Мухуров Л. И. Характеристика лесных пожаров по особенностям их возникновения // Труды БГТУ. 2013. № 1 (157): Лесное хоз-во. С. 73–75.

References

1. Sarnatskiy V. V. Some features of forest management in conditions of periodic extreme emergence of environmental factors. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 65–68 (In Russian).
2. Usenya V. V., Kotkova E. N., Ul'dinovich S. V. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Gomel', GGU im. Skaryny Publ., 2011. 264 p.
3. Sofronov M. A. *Lesnyye pozhary v gorakh Yuznoy Sibiri* [Forest fires in the mountains of southern Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 152 p.
4. Rykhter I. E. *Lyasnaya pirologiya z osnovami radyeekologii* [Forest pyrology with the basics of radioecology]. Minsk, BGTU Publ., 2006. 396 p.
5. Klimchik G. Ya., Usenya V. V., Gordey N. V., Mukhurov L. I. The combustibility of forest fuels in pine plantations. *Sb. nauch. trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Problems of forestry and forestry: Sat. sci. work IL NAS of Belarus], 2012, issue. 72, pp. 455–461 (In Russian).
6. Kastyrina T. V. Research of fire maturation of some forest types in the south of the Khabarovsk Territory. *Problemy lesnoy pirologii* [Problems of forest pyrology], 1975, pp. 29–43 (In Russian).
7. Klimchik G. Ya., Usenya V. V., Soevich F. F., Mukhurov L. I. Features of pyrotechnical characteristics of tanning of forest combustible materials in pine forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, issue 1 (148), Forestry, pp. 90–92 (In Russian).
8. Sheshukov M. A., Starodumov A. M. *Vliyaniye nekotorykh faktorov sredy na skorost' vysykhaniya i uvlazhneniya lesnykh goryuchikh materialov* [Influence of some environmental factors on the rate of drying and moistening of forest combustible materials], Krasnoyarsk, ILiD SOANSR Publ., 1973, pp. 44–55.
9. Katkova E. N. Analysis of the effectiveness of preventive firefighting measures in the forest fund of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 111–112 (In Russian).
10. TCH 193–2009 (02080). Rules of fire-prevention arrangement of forests of the Republic of Belarus. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2009. 12 p. (In Russian).
11. Usenya V. V., Churilo E. V., Konovalova E. A. Assessment of the level of the forest habitat in the territory of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, issue 1 (148): Forestry, pp. 121–123 (In Russian).
12. Lesnoy kodeks Respubliki Belarus' [Forest Code of the Republic of Belarus]. Minsk, Amalfeya Publ., 2016.
13. Usenya V. V. Modern methods and means of forest protection from fires and liquidation of their consequences in the Republic of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sb. nauch. trudov Instituta*

lesa NAN Belarusi [Problems of forestry and forestry: Sat. sci. works of IL of NAS of Belarus], 2015, issue 75, pp. 596–609 (In Russian).

14. Rikhter I. E., Myslejko N. G., Klimchik G. Ya. Fire danger and the burning of forests of the Ministry of Forestry of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], ser. I, Forestry, 2000, issue VIII, pp. 151–157 (In Russian).

15. Usenya V. V. *Lesnyye pozhary, posledstviya i bor'ba s nimi* [Forest fires, consequences and struggle against them]. Gomel', In-t lesa NAN Belarusi Publ., 2002. 206 p.

16. Klimchik G. Ya., Usenya V. V., Gordey N. V., Mukhurov L. I. Characteristics of forest fires in terms of their origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1 (157): Forestry, pp. 73–75 (In Russian).

Информация об авторе

Климчик Геннадий Яковлевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: les@belstu.by

Information about the author

Klimchik Gennadiy Yakovlevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forestry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: les@belstu.by

Поступила 16.04.2018

УДК 630*323+631.43

М. В. Левковская¹, В. В. Сарнацкий²¹Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина²Институт экспериментальной ботаники
им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси**ВЛИЯНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ
ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ СОСНЯКОВ МШИСТЫХ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОХОДНЫХ РУБОК**

Проведены исследования динамики водно-физических свойств верхних горизонтов почвы: влажности, плотности, твердости, кислотности и концентрации нитратного азота в сосняках мшистых Брестского ГПЛХО, в которых были выполнены проходные рубки различной давности слабой и умеренной интенсивности с использованием многооперационных машин. Твердость верхних горизонтов почвы под воздействием трелевки в технологических коридорах достигает 17 кг/см² в зависимости от давности рубок, превышает твердость почвы на контроле в 1,3–4,0 раза. Увеличение плотности почвы в технологических коридорах колеблется от 1 до 20%.

На вырубке кислотность почвы снижается на 0,1–0,6 и зависит от вида произрастающих растений. В коридорах происходит смена подпологовой растительности на растительность более открытых местообитаний, характерную для более разреженных сосняков, лесных полян, опушек. В зоне коридоров идет интенсивный процесс нитрификации, о чем свидетельствует разрастание растений-нитрофилов. Проведение рубок ухода способствует оздоровлению лесных насаждений, индексы состояния которых находятся в пределах 1,27–1,76.

Ключевые слова: механизированные рубки ухода, плотность, твердость, влажность, кислотность.

M. V. Levkovskaya¹, V. V. Sarnatskiy²¹Brest State University named after A. S. Pushkin²V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus**INFLUENCE OF LOGGING EQUIPMENT ON THE WATER-PHYSICAL PROPERTIES
OF SOIL OF MOSS-COVERED PINE FORESTS AS A RESULT OF THINNINGS**

The effect of mechanized cuttings on dynamics on the moisture, density, hardness, acidity and the concentration of nitrate nitrogen of soils of moss-covered pine forests was studied. The research was carried out in pure and mixed of moss-covered pine forests of Brest region, passed by mechanized thinning of weak and moderate intensity using with multioperational machines. The hardness of the upper horizons of the soil under the influence of logging in the technological corridors reaches 17 kg/cm², depending on the time of thinning, the soil exceeds the hardness of control at 1.3–4.0 times. Increasing the density of the upper soil horizons in the technology corridor ranges from 1 to 20%.

On cutting down the size acidity is reduced on the 0.1–0.6 and depends on a kind of growing plants. As a result of thinning in the moss-covered pine forests in the corridors there is a change of the understory vegetation in the vegetation of open habitats, characteristic for sparse pine forests, forest clearings, forest edges. In the corridors of the area is an intensive process of nitrification, as evidenced by the growth of plant-nitrophilic. Thinning promotes improvement of forest stands, indexes the state which are in pre-affairs 1.27–1.76.

Key words: mechanized thinning, hardness, acidity, live ground cover.

Введение. При современных механизированных лесозаготовках перемещающиеся по лесосеке лесные машины оказывают влияние на почву и поверхностно расположенные корни древесных растений. Основное повреждение лесных почв лесозаготовительными машинами заключается в изменении водно-физических свойств почвенно-растительного покрова, уплотнении почвы, вследствие чего изменяется воздушно-водный режим, нарушается функционирование корневых систем растений. Пористость лесной почвы уменьшается, и это приво-

дит к резкому снижению проникновения воздуха и воды [1–11].

Основная часть. Цель работы – изучить динамику изменения водно-физических свойств верхних горизонтов почвы на волоках и пасеках в сравнении с контрольными вариантами опыта после проведения проходных рубок в сосняках мшистых.

Исследования проведены в 2011–2013 гг. после проходных рубок на 10 пробных площадях (ПП) размером 0,5 га в чистых и смешанных сосняках мшистых (*Pinetum pleuroziosum*)

Брестского ГПЛХО, пройденных рубками ухода и не тронутых ими. При анализе акцент был сделан на давность рубки, которая варьирует от 1 года до 10 лет, что позволило проследить динамику изменения свойств почв.

Для сравнительного анализа влияния механизмов на свойства почвы на пробной площади в зоне технологических коридоров и в пасеках были взяты образцы почвы ненарушенного сложения в верхних горизонтах (50 см).

В полевых условиях определена твердость гумусового горизонта, в лабораторных условиях – влажность, плотность, кислотность и концентрация нитратного азота почвы в технологических коридорах и в пасеках (50 см) [12–14].

Результаты исследований показывают, что при проведении механизированных лесозаготовок водно-физические свойства почвы на волоке подвергаются изменениям (табл. 1–3).

Таблица 1

Содержание нитратов верхних горизонтов почвы

ПП	Год рубки	Горизонт	NO ₃ , мг/кг	
			коридор	пасека
1	2004	A ₁	3,9	4,8
		A ₂	3,8	2,0
2	2004	A ₁	11,6	5,4
		A ₂	3,5	4,2
3	2005	A ₁	5,9	2,0
		A ₂	6,6	7,4
5	2007	A ₁	1,9	7,0
		A ₂	6,4	7,3
6	2009	A ₁	8,4	9,5
		A ₂	4,1	6,6
8	2011	A ₁	1,5	7,4
		A ₂	2,7	8,5
9	Контроль	A ₁	7,1	
		A ₂	6,6	
10	Контроль	A ₁	17,2	
		A ₂	11,6	

Концентрация нитратного азота верхних горизонтов почвы определялась для смешанных образцов в 2011 г. При увеличении давности рубки на волоках более интенсивно протекают процессы нитрификации. Различия в концентрации нитратов в гумусовом горизонте почвы на ПП 1–3 на волоках и контроле являются статистически достоверными.

Почвы характеризуются кислой реакцией среды. Кислотность верхних горизонтов почвы на исследуемых ПП в 2011 г. в пасеке варьирует от 3,85 до 5,47; на волоке – от 3,85 до 5,45; в 2013 г. показатели кислотности снижаются в пасеке и варьируют от 3,4 до

5,31; на волоке – от 3,77 до 4,83, различия в значении рН между 2011 и 2013 гг. на волоке и пасеке достоверны. Проведенные исследования показали, что на вырубке кислотность почвы снижается на 0,1–0,6 и зависит от вида произрастающих растений. При увеличении давности рубки (2013 г.) разница возрастает до 0,9 (ПП 2).

Таблица 2

Изменение кислотности почвы после рубок ухода

ПП	Год рубки	Отбор проб	Горизонт	рН	
				коридор	пасека
1	2004	2011	A ₁	5,10 ± 0,1	5,10 ± 0,1
			A ₂	5,20 ± 0,1	5,45 ± 0,1
		2013	A ₁	4,19 ± 0,1	4,15 ± 0,2
			A ₂	4,44 ± 0,2	4,54 ± 0,1
2	2004	2011	A ₁	5,25 ± 0,2	5,09 ± 0,1
			A ₂	5,12 ± 0,2	5,16 ± 0,1
		2013	A ₁	4,78 ± 0,1	3,91 ± 0,1
			A ₂	4,71 ± 0,1	4,22 ± 0,1
3	2005	2011	A ₁	4,89 ± 0,1	4,98 ± 0,1
			A ₂	5,29 ± 0,2	5,47 ± 0,2
		2013	A ₁	3,98 ± 0,1	4,68 ± 0,2
			A ₂	4,88 ± 0,2	5,31 ± 0,2
4	2005	2011	A ₁	4,45 ± 0,1	4,44 ± 0,2
			A ₂	4,49 ± 0,2	4,64 ± 0,1
		2013	A ₁	4,16 ± 0,1	4,15 ± 0,1
			A ₂	4,54 ± 0,1	4,69 ± 0,1
5	2007	2011	A ₁	5,08 ± 0,1	5,13 ± 0,1
			A ₂	4,66 ± 0,1	4,85 ± 0,2
		2013	A ₁	4,11 ± 0,1	4,19 ± 0,1
			A ₂	4,57 ± 0,2	4,61 ± 0,2
6	2009	2011	A ₁	4,83 ± 0,2	4,61 ± 0,2
			A ₂	5,09 ± 0,2	4,76 ± 0,2
		2013	A ₁	3,47 ± 0,1	3,4 ± 0,1
			A ₂	4,48 ± 0,2	4,6 ± 0,2
7	2010	2011	A ₁	3,85 ± 0,1	3,85 ± 0,1
			A ₂	4,52 ± 0,2	4,27 ± 0,1
		2013	A ₁	3,77 ± 0,1	3,79 ± 0,1
			A ₂	4,56 ± 0,2	4,41 ± 0,2
8	2011	2011	A ₁	4,8 ± 0,2	4,64 ± 0,2
			A ₂	5,45 ± 0,2	4,87 ± 0,2
		2013	A ₁	4,31 ± 0,1	4,16 ± 0,1
			A ₂	4,83 ± 0,2	4,58 ± 0,2
9	Контроль	2011	A ₁	5,14 ± 0,1	
			A ₂	4,99 ± 0,1	
		2013	A ₁	4,58 ± 0,1	
			A ₂	4,89 ± 0,1	
10	Контроль	2011	A ₁	4,57 ± 0,1	
			A ₂	4,70 ± 0,1	
		2013	A ₁	3,68 ± 0,1	
			A ₂	3,80 ± 0,1	

Таблица 3

Динамика водно-физических свойств верхних горизонтов почвы при рубках ухода

ПП	Год рубки	Отбор проб	Горизонт почвы	Влажность, %		Плотность, г/см ³		Твердость, кг/см ²	
				Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека
1	2004	2011	A ₁	6,37 ± 0,32	9,28 ± 0,46	0,98 ± 0,03	0,92 ± 0,05	16,6 ± 0,82	5,52 ± 0,22
			A ₂	3,14 ± 0,15	4,98 ± 0,22	1,14 ± 0,05	0,97 ± 0,01	–	–
		2013	A ₁	10,91 ± 0,3	10,47 ± 0,09	1,28 ± 0,03	1,27 ± 0,05	9,9 ± 0,44	3,65 ± 0,15
			A ₂	7,66 ± 0,09	6,30 ± 0,21	1,48 ± 0,05	1,41 ± 0,01	–	–
2	2004	2011	A ₁	8,76 ± 0,44	7,23 ± 0,35	1,28 ± 0,03	1,27 ± 0,05	6,13 ± 0,23	2,17 ± 0,03
			A ₂	5,91 ± 0,25	5,8 ± 0,19	1,48 ± 0,05	1,41 ± 0,01	–	–
		2013	A ₁	10,61 ± 0,14	11,04 ± 0,35	1,22 ± 0,03	1,13 ± 0,02	7,82 ± 0,36	5,42 ± 0,44
			A ₂	7,39 ± 0,28	7,16 ± 0,07	1,32 ± 0,05	1,36 ± 0,03	–	–
3	2005	2011	A ₁	8,78 ± 0,14	10,41 ± 0,35	0,92 ± 0,03	0,9 ± 0,02	11,7 ± 0,6	4,65 ± 0,17
			A ₂	5,28 ± 0,05	5,7 ± 0,29	1,04 ± 0,4	0,94 ± 0,03	–	–
		2013	A ₁	6,89 ± 0,06	8,84 ± 0,36	1,23 ± 0,02	1,15 ± 0,03	11,92 ± 0,66	6,04 ± 0,31
			A ₂	4,74 ± 0,03	5,91 ± 0,1	1,39 ± 0,03	1,39 ± 0,04	–	–
4	2005	2011	A ₁	5,85 ± 0,26	5,34 ± 0,16	1,35 ± 0,05	1,24 ± 0,05	11,92 ± 0,57	4,4 ± 0,22
			A ₂	4,78 ± 0,20	4,08 ± 0,18	1,46 ± 0,01	1,31 ± 0,07	–	–
		2013	A ₁	7,03 ± 0,18	8,38 ± 0,16	1,38 ± 0,02	1,42 ± 0,03	8,9 ± 0,44	3,75 ± 0,14
			A ₂	5,98 ± 0,30	5,15 ± 0,04	1,40 ± 0,04	1,34 ± 0,07	–	–
5	2007	2011	A ₁	6,93 ± 0,34	9,31 ± 0,41	0,98 ± 0,03	0,97 ± 0,02	14 ± 0,51	5,37 ± 0,33
			A ₂	5,05 ± 0,24	6,9 ± 0,17	1,11 ± 0,4	1,09 ± 0,03	–	–
		2013	A ₁	5,43 ± 0,16	5,68 ± 0,1	1,36 ± 0,02	1,26 ± 0,03	16,14 ± 0,44	8 ± 0,31
			A ₂	3,54 ± 0,02	5,89 ± 0,03	1,46 ± 0,03	1,42 ± 0,04	–	–
6	2009	2011	A ₁	8,15 ± 0,13	9,78 ± 0,46	0,94 ± 0,03	0,90 ± 0,04	13,74 ± 0,58	4,67 ± 0,31
			A ₂	5,73 ± 0,24	4,3 ± 0,09	1,15 ± 0,05	1,04 ± 0,01	–	–
		2013	A ₁	9,74 ± 0,31	8,43 ± 0,19	1,35 ± 0,03	1,34 ± 0,05	12,92 ± 0,41	6,6 ± 0,3
			A ₂	7,08 ± 0,16	6,3 ± 0,14	1,26 ± 0,05	1,18 ± 0,01	–	–
7	2010	2011	A ₁	6,04 ± 0,30	9,66 ± 0,23	1,27 ± 0,04	1,16 ± 0,025	17 ± 0,55	4,89 ± 0,23
			A ₂	4,92 ± 0,25	5,08 ± 0,16	1,42 ± 0,05	1,41 ± 0,07	–	–
		2013	A ₁	9,75 ± 0,24	8,17 ± 0,19	1,14 ± 0,02	1,24 ± 0,02	13,1 ± 0,48	5,6 ± 0,21
			A ₂	6,32 ± 0,18	6,37 ± 0,13	1,53 ± 0,03	1,36 ± 0,06	–	–
8	2011	2011	A ₁	7,83 ± 0,36	9,85 ± 0,43	0,91 ± 0,02	0,91 ± 0,02	13,33 ± 0,66	5,85 ± 0,29
			A ₂	5,1 ± 0,15	5,6 ± 0,19	1,08 ± 0,03	1 ± 0,03	–	–
		2013	A ₁	7,34 ± 0,16	9,8 ± 0,11	1,2 ± 0,06	1,11 ± 0,01	11,5 ± 0,5	7 ± 0,5
			A ₂	5,65 ± 0,2	11,38 ± 0,57	1,08 ± 0,04	1 ± 0,02	–	–
9	Без ухода	2011	A ₁	9,29 ± 0,16		0,93 ± 0,16		6,05 ± 0,17	
			A ₂	6,96 ± 0,06		1,11 ± 0,15		–	
		2013	A ₁	6,78 ± 0,06		1,21 ± 0,02		6,16 ± 0,31	
			A ₂	6,4 ± 0,07		1,29 ± 0,02		–	
10	Без ухода	2011	A ₁	8,07 ± 0,08		1,01 ± 0,01		4,72 ± 0,22	
			A ₂	7,19 ± 0,26		1,09 ± 0,02		–	
		2013	A ₁	10,68 ± 0,10		0,98 ± 0,01		4,1 ± 0,15	
			A ₂	10,18 ± 0,34		1 ± 0,02		–	

Установлено, что кислотность почвы оказывает влияние как на рост растений, так и на их видовой состав. Изменение светового режима способствует произрастанию на вырубке растений, не характерных для древостоя. На изменение реакции почвенной среды оказывают влияние продукты разложения лесной подстилки после вырубki древостоя, так как поверхность почвы интенсивней прогревается и освещается, а также корневые выделения травянистых растений. Отмечено преобладание дернового процесса над подзолистым, что вполне согласуется

с результатами исследований, выполненных в других регионах Беларуси [15].

Полученные результаты свидетельствуют, что влажность почвы в коридоре ниже, чем на пасеке. В связи с рубкой технологических коридоров и работой на них лесозаготовительной техники происходит увеличение количества осадков, достигающих поверхности почвы, и усиление интенсивности испарения. Уплотнение почвы в коридорах может привести к снижению ее пористости, водопроницаемости, изменению водного режима и затруднению про-

никновения влаги, снижению инфильтрационной способности почв коридора.

Определены изменения твердости гумусового горизонта. Возрастание твердости почвы под воздействием трелевки наблюдается до 17 кг/см^2 (в 1,5–3,5 раза по сравнению с пасекой и в 1,3–4 раза выше контроля) (табл. 3).

Через год после проведения рубки на ПП 7 твердость почвы в коридоре превышает показатели пасеки в 3,5 раза, на ПП 8 – в 2,3 раза, а через 3 года на ПП 7 – в 2,3 раза, на ПП 8 – в 1,7 раза. Относительно более благоприятные условия складываются на вырубках, достигающих возраста 8–9 лет (ПП 1–3). В 2013 г. происходит уменьшение твердости почвы, что свидетельствует об обратимости процесса ее уплотнения.

Плотность верхних горизонтов почвы на исследуемых ПП в пасеке варьирует от 0,9 до $1,42 \text{ г/см}^3$, на волоке – от 0,9 до $1,5 \text{ г/см}^3$ (табл. 3). Выявлено, что плотность почвы на волоке увеличилась в 1,1–1,4 раза по сравнению с пасекой и контрольными участками.

Со временем разница в плотности почвы в коридоре и пасеке уменьшается на вырубках, достигающих возраста 8–9 лет (ПП 1–3). Происходит уменьшение плотности почвы, что свидетельствует об обратимости процесса ее уплотнения.

Для оценки состояния исследуемых насаждений рассчитывали средневзвешенную категорию состояния для каждой пробной площади по жизнеспособности деревьев. Степень деформации крон деревьев господствующего яруса изучали визуально. Распределение по категориям состояния деревьев произошло на основе подсчета количества деревьев, имеющих ту или иную степень изреженности кроны с расчетом процентных соотношений.

На основании расчета индекса состояния древостоя на пробных площадях равен: 1 – 1,27; 2 – 1,44; 3 – 1,76; 4 – 1,67; 5 – 1,46; 6 – 1,37; 7 – 1,51; 8 – 1,32; на контроле – 2,1 и 2,2. Исследуемые насаждения, пройденные рубками ухода, квалифицируются как здоровые.

Индекс состояния древостоя контрольного участка без ухода равен 2,1 и 2,2, что свидетельствует о его ослаблении.

Из анализа следует, что показатели средней категории состояния деревьев в сосняках мшистых, пройденных рубками ухода, существенно

не различаются между собой (1,27–1,76). Средневзвешенная категория состояния деревьев на большинстве вариантов опыта не превышает 1,5. По лесопатологическому состоянию исследуемые сосновые насаждения на всех пробных площадях по существующей классификации относятся к категории насаждений с ненарушенной биологической устойчивостью, с преобладанием деревьев без признаков ослабления. И лишь на контрольных участках наблюдается значительное снижение этого показателя (2,15). Рассмотрим распределение деревьев по категориям состояния на ПП и контроле.

При оценке санитарного состояния сосняка мшистого через 7 лет после рубки (ПП 1) количество сухостоя невелико (всего 2,7%), число здоровых деревьев сосны составляет 88,5%, ослабленных – 8,7%. В целом индекс состояния всего древостоя равен 1,27, при этом насаждение квалифицируется как здоровое.

Количество деревьев без признаков ослабления, составляющих основной полог насаждения, на контрольном участке без ухода (ПП 9) достигает 63% от общего количества. Запас сухостояных деревьев достиг 16% и только на пробных площадях, на которых была проведена рубка, запас сухостоя не превышает 4,5%. Число деревьев, находящихся в различной стадии ослабления, на контроле составляет 20%.

В результате своевременных рубок количество сильно ослабленных, усыхающих и сухостояных деревьев за анализируемый период существенно ниже показателей контрольного участка без ухода.

Заключение. В результате движения агрегатной лесозаготовительной техники по технологическому коридору почва уплотняется, увеличивается ее твердость, с увеличением давности рубки происходит уменьшение этого показателя, что свидетельствует об обратимости процесса. При повышении твердости почвы уменьшаются пористость, аэрация, влажность.

На технологических коридорах кислотность почвы снижается на 0,1–0,6 в сравнении с пасекой и контролем при значительной давности рубки. Индекс состояния древостоя контрольных участков без ухода выше 2, что свидетельствует о его ослаблении. Проведение рубок ухода способствует оздоровлению лесных насаждений, индекс состояния которых не превышает 1,5–1,7.

Литература

1. Дручинин Д. Ю. Повреждение лесной почвенно-растительной среды при проведении лесозаготовительных работ: материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Лесозаготовительное производство: проблемы и решения». Минск, 2017. С. 84–87.
2. Прогнозирование осадки и плотности лесной почвы после прохода гусеничных машин / В. А. Ермичев [и др.]. // Лесной журнал. 2006. № 2. С. 49–52.

3. Федоренчик А. С., Меркуль Г. В., Соколовский И. В. Типизация лесных территорий Беларуси для разработки требований по организации и проведению лесосечных работ // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 1999. Вып. VII. С. 8–12.
4. Лой В. Н. Оценка воздействия движителей лесных трелевочных машин «Беларус» на лесной почвогрунт // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2000. Вып. VIII. С. 63–68.
5. Григорьев А. И., Насенник А. Г., Рожков Л. Н., Юшкевич М. В. Экологическая оценка технологий рубок ухода, проводимых в Негорельском учебно-опытном и Бегомльском лесхозах // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2002. Вып. XI. С. 195–196.
6. Федоренчик А. С., Турлай И. В. Харвестеры: учеб. пособие для студентов вузов. Минск: БГТУ, 2002. 172 с.
7. Рожков Л. Н. Формирование целевых сосновых древостоев рубками // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2003. Вып. XI. С. 8–13.
8. Федоренчик, А. С., Протас П. А. Повреждение корней деревьев движителями лесозаготовительных машин при проведении несплошных рубок леса // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2005. Вып. XIII. С. 26–27.
9. Юшкевич М. В. Методика экологической оценки технологий рубок леса // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2005. Вып. XIII. С. 86–88.
10. Климчик Г. Я., Симанович В. А., Бахур О. В. Трансформация почв сосняков в связи с использованием различных машин и механизмов // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2008. Вып. XVI. С. 160–163.
11. Климчик Г. Я., Пашкевич Л. С., Мухуров Л. И. Влияние проходных рубок на живой напочвенный покров сосняков // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2009. Вып. XVII. С. 52–54.
12. Блинцов И. К., Забелло К. Л. Практикум по почвоведению: учеб. пособие. Минск: Выш. шк., 1979. 207 с.
13. Почвы. Методы определений удельной электропроводности, рН и плотного остатка водной вытяжки: ГОСТ 26423-85. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1985. 7 с.
14. Методика выполнения измерений концентраций азота нитратного фотометрическим методом с салицилатом натрия // Методы исследования качества воды и водоемов. М.: Медицина, 1990. С. 84–85.
15. Климчик Г. Я., Соколовский И. В. Трансформация и восстановление почвы сосняков, пройденных рубками // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, 2007. Вып. XV. С. 108–112.

References

1. Druchinin D. Yu. [Damage of the forest soil and plant environment at carrying out forest harvesting operations]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. ("Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya")* [Materials of International scientific-technical conference ("Logging industry: problems and solutions")]. Minsk, 2017, pp. 84–87 (In Russian).
2. Ermichev V. A., Lobanov V. N., Krivchenkova G. N., Artemov A. V. Forecasting the draft and density of forest soil after the passage of tracked machines. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2006, no. 2, pp. 49–52 (In Russian).
3. Fedorenchik A. S., Merkul' G. V., Sokolovskiy I. V. Typing forest areas of Belarus to develop the requirements for organizing and conducting logging activities. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 1999, issue VII, pp. 8–12 (In Russian).
4. Loy V. N. Assessment of the impact of wheel wood machines "Belarus" on forest soil. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2000, issue VIII, pp. 63–68 (In Russian).
5. Grigor'ey A. I., Nasennik A. G., Rozhkov L. N., Yushkevich M. V. The ecological estimation of technologies of the improvement fellings, which was held by the Nehoreloe forestry and Behoml forestry. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2002, issue XI, pp. 195–196 (In Russian).
6. Fedorenchik A. S., Turlyay I.V. *Kharvestery* [Harvesters]. Minsk, BGTU Publ., 2002. 172 p.
7. Rozhkov L. N. Formation of pine stand by thinning. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2003, issue XI, pp. 8–13 (In Russian).
8. Fedorenchik A. S., Protas P. A. Damage rate of the tree roots by forestry machines when carrying out incomplete felling. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2005, issue XIII, pp. 26–27 (In Russian).
9. Yushkevich M. V. The ecological estimation methodic of technologies of the fellings. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2005, issue XIII, pp. 86–88 (In Russian).
10. Klimchik G. Ya., Simanovich V. A., Bakhur O. V. Transformation of soils of pine due of using of various logging technical equipment and mechanisms. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 160–163 (In Russian).

11. Klimchik G. Ya., Pashkevich L. S., Muhurov Influence of cutting on the live ground cover of pine forests. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 52–54 (In Russian).
12. Blintsov I. K. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on soil science]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1979. 207 p.
13. GOST 26423-85 Soils. Methods for determination of conductivity, pH, and the solid residue of the aqueous extract. Moscow, State. Committee of the USSR for Standards Publ., 1985. 7 p. (In Russian)
14. The method for measuring the concentration of nitrate nitrogen by the photometric method with sodium salicylate. *Metody issledovaniya kachestva vody i vodoemov* [Methods of water quality and water research]. Moscow, Meditsina Publ., 1990, pp. 84–85 (In Russian)
15. Klimchik G. Ya., Sokolovskiy I. V. Transformation and restoration of soils of pine after cuttings. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, 2007, series I, Forestry, issue XV, pp. 108–112 (In Russian).

Информация об авторах

Левковская Марина Викторовна – старший преподаватель кафедры ботаники и экологии. Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина (224016, г. Брест, б-р Космонавтов, 21, Республика Беларусь). E-mail: lemarivik@mail.ru

Сарнацкий Владимир Валентинович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: sarnatsky1@tut.by

Information about the authors

Levkovskaya Marina Viktorovna – Senior Lecturer, the Department of Botany and Ecology. Brest State University named after A. S. Pushkin (21, blvd. of Kosmonavtov, 224016, Brest, Republic of Belarus). E-mail: lemarivik@mail.ru

Sarnatskiy Vladimir Valentinovich – DSc (Biology), Chief Researcher fellow. 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: sarnatsky1@tut.by

Поступила 31.03.2018

УДК 630.174:630*524

А. О. Луферов, К. В. Лабоха

Белорусский государственный технологический университет

**СОДЕЙСТВИЕ ЕСТЕСТВЕННОМУ ВОЗОБНОВЛЕНИЮ
КАК ОСНОВНОЙ МЕТОД ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ УСЫХАНИЯ СОСНЫ**

В статье приведены результаты анализа статистической информации, литературных источников и опытного материала на предмет обоснования содействия естественному лесовозобновлению в сосновых насаждениях суходольных типов леса в качестве основного метода лесовосстановления в условиях усыхания сосны на территории лесхозов Беларуси. Проанализирован отечественный и зарубежный опыт, выявлены проблемы в проведении мероприятий по лесовосстановлению. Исследован опыт проведения мер содействия на вырубках после сплошных санитарных рубок в ГЛХУ «Щучинский лесхоз» и ГОЛХУ «Копыльский опытный лесхоз». Заложены пробные площади на территории Щучинского лесничества Щучинского лесхоза и Копыльского лесничества Копыльского опытного лесхоза на вырубках после проведения сплошных санитарных рубок. На территории Щучинского лесхоза оценена также успешность естественного лесовосстановления вырубок, образованных после проведения санитарно-оздоровительных мероприятий в сосновых насаждениях, утративших биологическую устойчивость. На большей части исследованных участков естественное возобновление в результате проведения мер содействия произошло успешно, что позволило избежать посадки лесных культур. Решающее значение для успешного естественного лесовосстановления имеет время проведения минерализации почвы, наличие источников обсеменения и лесорастительные условия участка.

Ключевые слова: сосна, усыхание, сплошная санитарная рубка, содействие естественному возобновлению леса.

A. O. Lufarov, K. V. Labokha

Belarusian State Technological University

**ASSISTANCE TO NATURAL REGENERATION AS THE BASIC METHOD
OF REFORESTATION IN CONDITIONS OF DIEBACK OF PINE FORESTS**

The article presents the results of analysis of statistical information, literature sources and experimental material for substantiating the promotion of natural regeneration in pine forests of dry forest types as the main method of reforestation in the conditions of pine dieback on the territory of forest enterprises of Belarus. Domestic and foreign experience has been analyzed, problems in execution of events on reforestation are revealed. The experience of carrying out measures to promote natural regeneration on felling areas after clear sanitary felling in the Shchuchin forest enterprise and the Kopyl experimental forest enterprise was studied. Test plots were laid in the territory of the Shchuchinskoye forestry of the Shchuchin forest enterprise and Kopylskoye forestry of the Kopyl experimental forest enterprise on felling areas after clear sanitary felling. On the territory of the Shchuchin forest enterprise, the success of natural reforestation of felling areas formed after sanitary measures in pine stands that have lost biological stability was also evaluated. In most of the studied indicator plots the natural regeneration as a result of the assistance measures to promote natural regeneration was successful, thus avoiding the planting of forest cultures. Decisive for the successful natural reforestation is the time of mineralization of the soil, the presence of seeding trees and the forest-growing conditions of the sites.

Key words: pine, dieback, clear sanitary felling, natural regeneration, activities to promote natural regeneration of forests.

Введение. С учетом того, что усыхание сосновых насаждений в последние годы только набирает обороты, и не только в нашей стране [1, 2], необходимо наряду со стратегией предотвращения данного бедствия разрабатывать стратегию по восстановлению вырубок, образованных после массовых сплошных санитарных рубок. На сегодняшний день проблема усыхания сосны затронула в основном южную и центральную части Беларуси, которые соответст-

вуют подзонам елово-грабовых дубрав и широколиственно-сосновых лесов (именно здесь в эти годы случилась сильнейшая засуха за последние 40 лет [3]), однако при самом негативном сценарии породная карта Беларуси уже не в столь отдаленном будущем может измениться.

Всего за 2016 год по Беларуси было повреждено 38,5 тыс. га сосняков с требуемым запасом более 1 млн м³ (3173 га требовали проведения сплошных санитарных рубок). По со-

стоянию на 1 августа 2017 года в лесах Минлесхоза требовалось проведение санитарно-оздоровительных мероприятий на площади более 20 тыс. га (в том числе сплошные санитарные рубки – почти на 20% указанной площади). Большая часть очагов распространена на территории Полесского региона: в Брестском ГПЛХО площадь участка, подлежащих сплошным санитарным рубкам, составляет 1141 га, в Гомельском ГПЛХО – 1629 га [4].

За 2017 год нарастание патологических процессов в сосновых лесах продолжилось, и по состоянию на 01.09.2017 года объем усыхания составил 4,6 млн м³ на площади 79 814 га, в том числе 16 612 га необходимо было разработать сплошными санитарными рубками, с объемом заготовленной древесины 3,8 млн м³ [5].

В подавляющем большинстве случаев в качестве лесовосстановительного метода сейчас используется создание лесных культур, которые в конечном итоге имеют смысл в случае, если обеспечен качественный агротехнический и лесоводственный уход на всех этапах развития древостоя, а это далеко не всегда так. Проблема неудовлетворительного состояния лесных культур старших возрастов вследствие несвоевременных и некачественно проведенных уходов характерна не только для нашей страны [6].

Кроме того, насаждения естественного происхождения являются более устойчивыми (в частности, к поражению корневой губкой, которая является наряду с вершинным короедом основным фактором поражения сосняков) вследствие того, что они формируются, главным образом, разновозрастными [7]. Разновозрастные смешанные насаждения будут более устойчивыми и к поражению стволовыми вредителями – повреждаются в настоящий момент преимущественно чистые одновозрастные сосняки 40 лет и более. В основном это лесные культуры старших возрастов.

В целом естественное лесовосстановление участков, утративших биологическую устойчивость, может идти довольно успешно [8]. К примеру, в очагах корневой губки в окнах полога может образовываться вполне достаточное количество разновозрастного самосева и подроста сосны [9]. Также на таких участках сохраняется некоторое количество условно здоровых, устойчивых деревьев сосны, которые выполняют роль семенников [10].

Однако успешность естественного возобновления сосны, помимо фактора освещенности [11] и наличия источников обсеменения, зависит также от типа леса. К примеру, в типах леса с густым живым напочвенным покровом (сосняк черничный), который затрудняет прорастание соснового семени, естественное во-

зобновление хвойных пород сосредотачивается отдельными группами, которые не могут создать конкуренцию листовым породам. В результате получаются мягколиственные насаждения с примесью хвойных и твердолиственных пород [12]. Хотя, к примеру, влияние лесорастительных условий на семенную продуктивность деревьев сосны (также важного фактора для естественного лесовозобновления) не установлено [13].

В вопросе лесовосстановления есть проблемы не только с лесоводственной точки зрения. Так, к примеру, при назначении мероприятия (при проведении лесоинвентаризации) на вырубке, образованной после осуществления сплошной санитарной рубки, во внимание принимается площадь участка. Протоколом лесоустроительных совещаний в большинстве случаев устанавливается площадь в 0,5 га, свыше которой проектируется посадка лесных культур в суходольных типах леса – этого значения придерживаются таксаторы при назначении мероприятий. Однако такие участки во многих случаях могли бы быть восстановлены и естественным способом или же при проведении мер содействия. В данных вопросах интересен опыт зарубежных стран, к примеру Латвии и Польши, в которых решение о способе лесовосстановления конкретного участка принимается непосредственно лесовладельцами и лесопользователями в соответствии с действующим законодательством [14–17].

Таким образом, целью данного исследования стало определение лесоводственной эффективности проведения содействия естественному возобновлению в качестве лесовосстановительного метода (без создания лесных культур) на вырубках суходольных типов леса после проведения сплошных санитарных рубок на территории ГЛХУ «Щучинский лесхоз» и ГОЛХУ «Копыльский опытный лесхоз».

Основная часть. Объектами исследования стали вырубки после проведения сплошных санитарных рубок в сосновых насаждениях: пробная площадь (далее – ПП) № 1, заложенная в Копыльском лесничестве Копыльского опытного лесхоза, и ПП № 2, заложенная в Щучинском лесничестве Щучинского лесхоза. Участки ПП № 3–11 глазомерно исследованы в натуре, и их показатели взяты по данным перевода участков в покрытые лесом земли Щучинского лесхоза. В табл. 1 приводится характеристика исследованных участков.

На ПП № 1 и № 2 обследование производилось методом трансект. Учитывались размеры, микроположение, качество естественного возобновления, типологические условия участка, густота живого напочвенного покрова, подлесочные породы.

Таблица 1

Характеристика исследованных участков

Номер ПП / лесничество	Номер квартала / выдела	Площадь, га	Характеристика участка до проведения мер содействия естественному возобновлению леса		Характеристика сосновых молодняков: состав, средний возраст главной породы, густота
			вид земель	ТУМ / ТЛУ	
ПП 1 / Копыльское	15 / 29	5,1	Вырубка 2016, 10С	С. мш / А ₂	10С + Д, Е, Б, Ос (3 года), 54,8 тыс. шт./га
ПП 2 / Щучинское	194 / 14.2	3,2	Вырубка 2015, 10С	С. ор / В ₂	6С3Б1Д (3,6 лет), 10,0 тыс. шт./га
ПП 3 / Мостовское	194 / 21	0,8	Вырубка 2005, 9С1Б	С. ор / В ₂	6Д2Кл2Б (10 лет), 5,0 м, 6 см, Р = 0,7
ПП 4 / Мостовское	181 / 11	0,9	Вырубка 2006, 8С2Е	С. ор / В ₂	7Е2Д1Б (12 лет), 6,0 м, 8 см, Р = 0,7
ПП 5 / Мостовское	63 / 9	1,2	Вырубка 2006, 10С	С. мш / А ₂	7Б2Ос1Д (7 лет), 6,0 м, 6 см, Р = 0,7
ПП 6 / Мостовское	143 / 14	0,6	Вырубка 2006, 4С1Е5Б	С. ор / В ₂	9Д1Е (15 лет), 5,0 м, 4 см, Р = 0,6
ПП 7 / Рожанковское	47 / 6	1,2	Вырубка 2007, 6С4Е + Ос	С. мш / А ₂	9Е1С + Д (10 лет), 4,0 м, 4 см, Р = 0,7
ПП 8 / Желудокское	114 / 8	0,3	Вырубка 2006, 10С + Б	С. мш / А ₂	8С2Б (8 лет), 2,0 м, 4 см, Р = 0,7
ПП 9 / Мостовское	219 / 6, 10	0,9	Вырубка 2007, 10С + Д	С. ор / В ₂	8Б2Г (7 лет), 4,0 м, 4 см, Р = 0,7
ПП 10 / Рожанковское	66 / 35, 36	1,9	Вырубка 2007, 10С + Е, Б	С. чер / В ₃	8Д1С1Б (10 лет), 4,0 м, 6 см, Р = 0,7
ПП 11 / Желудокское	97 / 14	1,4	Вырубка 2009, 8С2Б	С. мш / А ₂	4С5Б1Ос + Д, Е (7 лет), 2,0 м, 4 см, Р = 0,9

Участок ПП № 1 (кв. 15, в. 29 Копыльского лесничества) представляет собой средневозрастное чистое сосновое насаждение, в котором произошло усыхание вследствие поражения корневой губкой. В 2016 году на части выдела произведена сплошная санитарная рубка. За год до этого вследствие высокой полноты выдела была проведена проходная рубка. Изреживание взрослого насаждения позволило сформировать оптимальные условия освещенности, наличие источников обсеменения, нарушение живого напочвенного покрова (и без того не интенсивного) при трелевке древесины, заготовленной при проведении рубки ухода, – эти факторы способствовали успешному ходу естественного возобновления сосны.

ПП № 2 (кв. 194, в. 14.2 Щучинского лесничества). Данный участок представлял собой приспевающее сосновое насаждение. В 2015 году на части выдела произведена сплошная санитарная рубка. Состав сформировавшегося подростка – 6С3Б1Д, количество – 10,0 тыс. шт./га. Средняя высота сосны – 87,4 см, средний возраст – 3,6 лет. ТУМ/ТЛУ – ОР, В₂. Изреживание взрослого насаждения позволило сформировать оптимальные условия освещенности, наличие источников обсеменения (сосновый 11 и 14 выдел), нарушение живого напочвенного покрова при трелевке древесины,

содействие путем проведения борозд – эти факторы способствовали успешному ходу естественного возобновления сосны.

На участках ПП № 3–7 и ПП № 8–10 проведены сплошные рубки реконструкции (фактически – сплошные санитарные рубки вследствие критической утраты насаждениями биологической устойчивости). Проведению этого мероприятия предшествовали выборочные санитарные рубки, которые, очевидно, не возымели успеха в предотвращении распространения усыхания. Участки ПП № 8 и ПП № 11 Желудокского лесничества образовались после проведения сплошных санитарных рубок. Причина гибели этих насаждений комплексная; официальная – корневая губка. Далее рассмотрим эти участки подробнее.

Участок ПП № 3 (кв. 194, в. 21 Мостовского лесничества) переведен в покрытые лесом земли 10-летним твердолиственным насаждением (6Д2Кл2Б) в 2013 году. Сплошная реконструктивная рубка проведена в 2005 году. В ходе осуществления рубки был сохранен подрост (5Д5Кл, высотой 1,5 м, 2,0 тыс. шт./га), который и послужил основой сформированного насаждения.

Участок ПП № 4 (кв. 181, в. 11 Мостовского лесничества) переведен в покрытые лесом земли 12-летним смешанным еловым насажде-

нием (7Е2Д1Б) в 2014 году. Сплошная реконструктивная рубка выполнена в 2006 году. Успешному формированию насаждения способствовали минерализация почвы плугом ПКЛ-70 в 2007 году и наличие источников обсеменения (полосы леса).

Участок ПП № 5 (кв. 63, в. 9 Мостовского лесничества) представляет собой смешанное малоценное насаждение (7Б2Ос1Д, 7 лет). Сплошная реконструктивная рубка проведена в 2005 году. Несмотря на проведенную минерализацию почвы и наличие потенциальных источников обсеменения (стена леса примыкающего выдела), естественного возобновления целевыми породами не произошло. Это может быть связано с заглушением изначально быстрорастущими мягколиственными породами, несовпадением времени минерализации почвы с семеношением сосны и отсутствием уходов за формирующимся насаждением на ранних этапах.

Участок ПП № 6 (кв. 143, в. 14 Мостовского лесничества) переведен в покрытые лесом земли 15-летним дубовым насаждением с примесью ели (9Д1Е) в 2014 году. Сплошная реконструктивная рубка выполнена в 2006 году. Успешному формированию насаждения способствовали минерализация почвы плугом ПКЛ-70 в 2007 году и наличие источников обсеменения (стена леса примыкающего выдела).

Участок ПП № 7 (кв. 47, в. 6 Рожанковского лесничества) переведен в покрытые лесом земли 10-летним хвойным насаждением (9Е1С + Д) в 2014 году. Сплошная реконструктивная рубка проведена в 2007 году. В ходе проведения рубки был сохранен подрост (10Е, 1,0 тыс. шт./га, высотой 0,5 м), который и послужил основой сформированного насаждения.

Кроме этого, на данном участке была осуществлена посадка СН₂ сосны в количестве 600 шт./га. на 0,8 га (из 1,2 га общей площади вырубки).

Участок ПП № 8 (кв. 114, в. 8 Желудокского лесничества) переведен в покрытые лесом земли 8-летним сосновым насаждением с примесью березы (8С2Б) в 2016 году. Сплошная санитарная рубка проведена в 2008 году. В этом же году проведена и минерализация почвы плугом ПКЛ-70. Малая площадь участка, грамотная минерализация почвы и наличие источников обсеменения позволили сформировать молодое сосновое насаждение с полнотой 0,7.

Участок ПП № 9 (кв. 219, в. 6, 10 Мостовского лесничества) списан в 2015 году, так как было сформировано малоценное насаждение (8Б2Г, 7 лет). Сплошная реконструктивная рубка проведена в 2006 году. Как и на ПП № 5, несмотря на проведенную минерализацию почвы и наличие потенциальных источников обсе-

нения (стена леса примыкающего выдела), естественного возобновления целевыми породами не произошло. Причины аналогичны ПП № 5.

Участок ПП № 10 (кв. 66, в. 35, 36 Рожанковского лесничества) переведен в покрытые лесом земли 10-летним смешанным насаждением (8Д1С1Б) в 2014 году. Сплошная реконструктивная рубка проведена в 2006 году. В ходе проведения рубки был сохранен подрост (10С, высотой 1,0 м, 1,0 тыс. шт./га), который вошел в состав сформированного насаждения. Успешному формированию насаждения способствовала и минерализация почвы плугом ПКЛ-70 в 2008 году.

Участок ПП № 11 (кв. 97, в. 14 Желудокского лесничества) переведен в покрытые лесом земли 7-летним смешанным сосновым насаждением с примесью мягколиственных пород (4С5Б1Ос + Д, Е) в 2016 году. Сплошная санитарная рубка и минерализация почвы плугом ПКЛ-70 проведены в 2009 году. В данном случае сосновое насаждение смогло сформироваться естественно даже на сравнительно небольшой площади (1,4 га). В этом выделе требуется в обязательном порядке проведение рубки осветления (полнота составляет 0,9) во избежание заглушения сосны малоценными породами.

Заключение. В ходе данного исследования было установлено, что сформировать устойчивые смешанные молодые насаждения с преобладанием целевых пород на вырубках после проведения сплошных санитарных и реконструктивных рубок можно и без создания лесных культур. Средняя полнота насаждений составила свыше 0,7.

Из исследованных участков 6 пробных площадей (№ 1, 2, 4, 7, 8, 11) восстановились хвойными породами (из них ПП № 1, 2, 8, 11 – с преобладанием сосны). ПП № 3, 6, 10 переведены твердолиственными насаждениями (с преобладанием дуба). Мягколиственными заросли участки ПП № 5, 9, что связано с заглушением изначально быстрорастущими малоценными породами, несовпадением времени минерализации почвы с семеношением сосны и отсутствием уходов за формирующимся насаждением на ранних этапах.

В некоторых случаях смешанные разновозрастные насаждения были сформированы при помощи подроста, грамотно сохраненного при проведении рубки (ПП № 3, 7, 10, 11).

Благоприятной оказалась также посадка частичных лесных культур сосны в количестве 600 шт./га. на ПП № 7.

Средняя площадь исследованных участков составила 2,7 га. Прямой закономерности между площадью участка, оставляемого под естественное возобновление, и успешностью лесо-

восстановления в ходе данного исследования не было выявлено – успешно восстанавливались и участки, площадью свыше 5 га (ПП № 1). Решающее значение имеют время проведения содействия, наличие источников обсеменения и лесорастительные условия участка.

Массовое лесовосстановление лесными культурами (пусть и рекомендуется посадка смешанных насаждений с долей участия сосны не более 50%) нередко осуществляется с преобладанием той же сосны, устойчивость и жизнеспособность которой по прошествии десятков лет снова окажется под вопросом. Поэтому необходимо отдавать предпочтение естественному возобновлению леса, которое сможет обеспечить формирование более устойчивых смешанных разновозрастных насаждений.

Содействие естественному возобновлению леса может производиться путем сохранения жизнеспособных деревьев (или куртин здоровых деревьев) при проведении рубок. Это могут быть и лиственные породы, а также деревья второго яруса, подрост. В некоторых случаях

целесообразно проведение комбинированных мер лесовосстановления – посадка сеянцев и саженцев на площади до 20% участка, подсев семян. На вырубках суходольных типов леса обязательно проведение минерализации почвы для стимулирования естественного возобновления леса.

При лесоустроительном проектировании мероприятий по лесовосстановлению рекомендуется убрать привязку к площади как к фактору, влияющему на назначение посадки лесных культур или проведения мер содействия в суходольных типах леса (сосняки мшистые, орляковые, вересковые, брусничные), которые в основном и подвержены усыханию. Следует более гибко подходить к проектированию, учитывая все особенности конкретного участка.

Выбор в пользу содействия естественному возобновлению леса как основного метода лесовосстановления в условиях усыхания сосны окажет благоприятный экономический (ввиду снижения затрат на создание и уход за лесными культурами) и экологический эффекты.

Литература

1. Пашков А. В., Бачериков И. В., Козлов К. В. К вопросу о санитарных рубках в очагах короеда-типографа (Вологда, 01–02 дек. 2015 г.): Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Вологда: ВоГУ, 2016. С. 42–44.
2. Давиденко Е. В. Каковы причины усыхания сосновых насаждений Украинского Полесья? (Санкт-Петербург, 23–25 нояб. 2016 г.): 9-е Чтения памяти О. А. Катаева. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах: материалы Междунар. конф. СПб., 2016. 24 с.
3. Белорусская лесная газета / редкол.: А. Ч. Цыбульский. Минск: Мин-во лесного хозяйства Респ. Беларусь, 2018. № 13 (1191). С. 7.
4. Практическое руководство № 1. Ведение лесного хозяйства в условиях короедного усыхания сосны / А. А. Сазонов [и др.]. Минск: Белгослес, 2017. 11 с.
5. Отчет о результатах экспедиционного лесопатологического обследования насаждений ГЛХУ «Любанский лесхоз», ГЛХУ «Петриковский лесхоз» и ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз» специалистами РУП «Белгослес» по состоянию на 1 ноября 2017 года / А. А. Сазонов [и др.]. Минск: Белгослес, 2017. № 3. 19 с.
6. Никонов М. В. К вопросу о методах содействия естественному лесовозобновлению главных пород (Великий Новгород, 24–25 нояб. 2016 г.): Повышение эффективности использования и воспроизводства природных ресурсов: материалы науч.-практ. конф. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого / редкол.: М. В. Никонов [и др.]. 2016. С. 95–99.
7. Стороженко В. Г. Эволюционные принципы поведения древоразрушающих грибов в лесных биогеоценозах. Тула: Гриф и К, 2014. 184 с.
8. Иванов В. П., Ерохин А. В., Колосова Т. Г. Анализ естественного лесовозобновления на основе парцеллярной структуры в сосново-еловых насаждениях после выборочных санитарных рубок // Изв. вузов. Лес. журн. 2016. № 6. С. 65–75.
9. Чураков Б. П., Битяев С. Г., Чураков Р. А. Возможности естественного возобновления в очагах корневой губки // Ульянов. мед.-биол. журн. 2017. № 1. С. 153–161.
10. Звягинцев В. Б., Волченкова Г. А. Трансформация патогенеза корневой губки при интенсификации лесного хозяйства // Грибные сообщества лесных экосистем. Т. 4. М.; Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2014. С. 15–25.
11. Алимova Д. Н., Миленин А. И., Алимов Н. И. Влияние освещенности на естественное возобновление сосны обыкновенной в Арчединском лесничестве Волгоградской области (Красноярск, 20–21 окт. 2016 г.): Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы 19-й Междунар. науч. конф. Красноярск, 2016. С. 3–6.

12. Аникин А. С. Изучение естественного лесовозобновления после сплошной санитарной рубки в Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области (Великий Новгород, 24–25 нояб. 2016 г.): Повышение эффективности использования и воспроизводства природных ресурсов: материалы науч.-практ. конф. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого / редкол.: М. В. Никонов [и др.]. 2016. С. 99–102.

13. Беспаленко О. Н. Семеношение сосны обыкновенной в различных типах лесорастительных условий (Воронеж, 20–21 апр. 2017 г.): Развитие идей Г. Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесопроизводству: материалы Международ. науч.-техн. юбилейной конф. Воронеж, 2017. С. 20–22.

14. Forestry Law of Latvia. Riga, Latvian Parliament, 2000. 19 p.

15. Rules of silviculture (in Polish). Warsaw, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 2012. 72 p.

16. Polupan P. Влияние нормативно-правового регулирования на успешность лесовозобновления. Alnar, Swedish University of Agricultural Sciences, 2009. Магистерская диссертация № 128. С. 1–48.

17. Курбанов Э. А., Воробьев О. Н. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учеб. пособие Поволжского государственного технологического университета. Йошкар-Ола, 2014. № 3. 252 с.

References

1. Pashkov A. V., Bacherikov I. V., Kozlov K. V. [On the issue of sanitary felling in the outbreaks of the bark beetle typographer]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. ("Aktual'nyye problemy razvitiya lesnogo kompleksa")*. [Materials of the International Scientific-Practical Conf. ("Actual problems of forestry complex development")]. Vologda, 2016, pp. 42–44 (In Russian).

2. Davidenko E. V. [What are the causes of the shrinking of pine forests in Ukrainian Polesye?]. *Materialy Mezhdunar. konf. 9-ye Chteniya pamyati O. A. Kataeva ("Dendrobiontnyye bespozvonochnyye zhyvotnyye i griby i ikh rol' v lesnykh ekosistemakh")* [Materials of the International Conf. Reading for the memory of O. A. Katayev ("Dendrobiontic invertebrate animals and fungi and their role in forest ecosystems")]. St. Peterburg, 2016, 24 p. (In Russian).

3. Tsybul'sky A. C. *Belorusskaya lesnaya gazeta* [Belarusian Forest Newspaper]. Minsk, Ministry of Forestry of Belarus, 2018, no. 13 (1191). P. 7. (In Russian).

4. Sazonov A. A., Zvyagintsev V. B., Kukhta V. N., Tupik P. V. *Prakticheskoye rukovodstvo no. 1. Vedeniye lesnogo khozyaystva v usloviyakh koroednogo usykhaniya sosny* [Practical guide number 1. Forest management in conditions of bark beetle dieback of pine stands]. Minsk, Belgosles Publ., 2017. 11 p.

5. Sazonov A. A. *Otchet o rezul'tatakh ekspeditsionnogo lesopatologicheskogo obsledovaniya nasazhdeniy GLKHU "Lyubanskiy leskhoz", GLKHU "Petrikovskiy leskhoz" i GOLKHU "Mozyrskiy opytnyy leskhoz" spetsialistami RUP "Belgosles" po sostoyaniyu na 1 noyabrya 2017 god* [Report on the results of the expedition forest pathological survey of the plantations of the Luban Forestry Enterprise, Petrikov Forestry Enterprise and Mozyr Experimental Forestry Enterprise by specialists of RUE "Belgosles" as of November 1, 2017]. Minsk, Belgosles, 2017, no. 3. 19 p. (In Russian).

6. Nikonov M. V. [On the methods of promoting natural regeneration of the main species]. *Materialy nauch.-prakt. konf. ("Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya i vosproizvodstva prirodnnykh resursov")* [Materials of scientific-practical conference ("Increasing the efficiency of the use and reproduction of natural resources")]. Veliky Novgorod, 2016, pp. 95–99. (In Russian).

7. Storozhenko V. G. *Evolyutsionnyye printsipy povedeniya drevorazrushayushchikh gribov v lesnykh biogeotsenozakh* [Evolutionary principles of the behavior of wood-destroying fungi in forest biogeocenoses]. Tula, Grif i K Publ., 2014, 184 p.

8. Ivanov V. P., Erokhin A. V., Kolosova T. G. Analysis of natural reforestation on the basis of the parcellular structure in pine-spruce plantations after selective sanitary felling. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest journal], 2016, no. 6, pp. 65–75 (In Russian).

9. Churakov B. P., Bityaev S. G., Churakov R. A. [Possibilities of natural renewal in the outbreaks of the root sponge]. *Ul'yan. med.-biol. zhurnal* [Ulyan. medical-biological journal], 2017, no. 1, pp. 153–161. (In Russian).

10. Zvyagintsev V. B., Volchenkova G. A. Transformation of the pathogenesis of the root sponge during the intensification of forestry. *Gribynyye soobshchestva lesnykh ecosystem* [Mushroom communities of forest ecosystems]. Petrozavodsk, Karel. NC RAN, 2014, pp. 15–25 (In Russian).

11. Alimova D. N., Milenin A. I., Alimov N. I. [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants]. *Materialy 19-y Mezhdunar. nauch. konf. ("Vliyaniye osveshchennosti na estestvennoye vozobnovleniye sosny obyknovennoy v Archedinskom lesnichestve Volgogradskoy oblasti")* [Materials of the 19th International Scientific Conference ("Influence of illumination on natural regeneration of Scots pine in the Archedinskoe forestry of the Volgograd region")]. Krasnoyarsk, 2016, pp. 3–6 (In Russian).

12. Anikin A. S. [Study of natural reforestation after continuous sanitary cutting in the Lisinsky part of the experimental forestry of the Leningrad Region]. *Materialy nauch.-prakt. konf. ("Izucheniye effektivnosti ispol'zovaniya i vosproizvodstva prirodnykh resursov")* [Materials of scientific-practical. conf. ("Increasing the efficiency of the use and reproduction of natural resources")]. Veliky Novgorod, 2016, pp. 99–102 (In Russian).

13. Bepalenko O. N. [Seedlings of Scots pine in various types of forest conditions]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. yubileynoy konf. ("Razvitiye idey G. F. Morozova pri perekhode k ustoychivomu lesoupravleniyu")* [Materials of the International Science-Tech. jubilee conf. ("Development of ideas of G. F. Morozov in the transition to sustainable forest management")]. Voronezh, 2017, pp. 20–22 (In Russian).

14. *Forestry Law of Latvia*. Riga, Latvian Parliament Publ., 2000. 19 p.

15. *Rules of silviculture* (In Polish). Warsaw, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Publ., 2012. 72 p.

16. Polupan P. *Vliyaniye normativno-pravovogo regulirovaniya na uspehost' lesovozobnovleniya* [Influence of the legal regulation concerning reforestation on the reforestation success]. Alnarp, Swedish University of Agricultural Sciences, 2009. Master thesis, no. 128, pp. 1–48.

17. Kyrbanov A., Vorob'ov O. N. [Forestry. International forestry]. *Ychebnoye posobiye Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Tutorial of Povolzhsky State Technical University]. Yoshkar-Ola, 2014, no. 3, 252 p. (In Russian).

Информация об авторах

Луферов Антон Олегович – магистр сельскохозяйственных наук, аспирант кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonyforest@mail.ru

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

Information about the authors

Luferov Anton Olegovich – Master of Agriculture, PhD student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonyforest@mail.ru

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

Поступила 11.04.2018

УДК 630.231

А. М. Потапенко, В. В. Усеня

Институт леса Национальной академии наук Беларуси

**ЛЕСОВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДУБРАВ
БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

Выполнен анализ структуры дубовых насаждений и их естественного возобновления в лесном фонде Белорусского Полесья на основе лесоустроительных материалов, а также результатов исследований по изучению естественного возобновления леса в дубравах орляковых, черничных, кисличных и снытевых Гомельского ГПЛХО и ГЛХУ «Корневская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси». Установлено отсутствие подроста в среднем на 77,6% площади дубрав. Общая площадь дубрав с жизнеспособным подростом дуба и других хозяйственно ценных пород составляет 8,5 тыс. га, из них в среднем на 67,3% площади подрост имеется в количестве 0,5–1,0 тыс. шт./га; 24,3% – 1,1–2,0 тыс. шт./га; 8,4% – 2,1–8,0 тыс. шт./га. Количество подроста в дубравах значительно варьирует в зависимости от типа леса: от 9,5% площади в дубравах снытевых до 20,6% в дубравах орляковых. В лесном фонде Гомельского ГПЛХО наиболее успешное естественное возобновление дуба наблюдается в дубравах орляковых и черничных (2,0–2,7 тыс. шт./га), наименее успешное – в дубравах снытевых и кисличных (1,1–1,7 тыс. шт./га).

Ключевые слова: дубравы, состав насаждения, возраст, тип леса, естественное возобновление леса.

A. M. Potapenko, V. V. Usenya

Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus

**FOREST RENEWAL POTENTIAL OF OAK GROVES
OF BELARUSIAN POLESIA**

The analysis of the structure of oak plantations and their natural renewal in the forest fund of Belarusian Polesia on the basis of forest management materials as well as the results of research in studying of natural forest regeneration in brake fern, bilberry, oxalis and glague oak groves of Gomel SPFI and SFI “Korenevskaya Experimental Forest Base of the Institute of Forest of the NAS of Belarus” is made. The lack of subgrowth, on average, for 77.6% of the area of oak groves is noticed. The total area of oak groves with the viable subgrowth of the oak and other economic and valuable breeds is 8.5 thousand ha, from which, on average, for 67.3% of the area subgrowth is available in the number of 0.5–1.0 thousand pieces/ha; 24.3% – 1.1–2.0 thousand pieces/ha; 8.4% – 2.1–8.0 thousand pieces/ha. The number of subgrowth in oak groves considerably varies depending on wood type: from 9.5% of the area in glague oak groves up to 20.6% in brake fern oak groves. In the forest fund of Gomel SPFI the most successful natural renewal of the oak is observed in brake fern and bilberry oak groves (2.0–2.7 thousand pieces/ha), the least successful – in glague and oxalis oak groves (1.1–1.7 thousand pieces/ha).

Key words: oak groves, structure of a plantation, age, wood type, natural forest renewal.

Введение. В Республике Беларусь на протяжении более чем 100 лет отмечается тенденция к сокращению долевого участия дубрав в структуре лесов: с 8,7% в 1901 г. до 3,4% в 2017 г. Причины данного негативного явления – усыхание дубовых древостоев, ухудшение в дубравах естественного возобновления хозяйственно ценных древесных пород, увеличение периода повторяемости семенных лет дуба и др. [1]. За последние 15 лет массовое усыхание дубрав в Беларуси отмечено в 2003–2004 гг. Летняя засуха в 2003 г. была исключительно длительной и интенсивной, что способствовало значительному уменьшению площади листовой поверхности, повреждению большого количества молодых корней дуба, ингибированию их роста [2, 3].

По данным ряда отечественных и зарубежных ученых, естественное восстановление дубрав очень проблематично [4–6]. В то же время имеются сведения [7–9] о наличии под пологом дубовых насаждений достаточного количества подроста дуба семенного происхождения для их успешного восстановления. По данным Paluch R. [10], одним общепризнанным фактором неудовлетворительной возобновительной способности дубрав является сильная конкуренция обильного самосева дуба черешчатого с теневыносливым обильным подростом других древесных пород, особенно граба, клена и липы. Аналогичная тенденция отмечается и в дубравах Беларуси, особенно в ее южной части.

Программа лесовосстановления, лесоразведения и повышения лесистости в Республике

Беларусь на период до 2020 г. [11] предусматривает увеличение долевого участия дубовой формации с 3,4% до 8,3%.

В лесном хозяйстве страны основным направлением увеличения площади дубовых насаждений является их искусственное лесовосстановление. В то же время использование естественного возобновления леса в дубравах существенно снижает затраты на их выращивание. При этом в насаждениях естественного происхождения сохраняется биологическое и генетическое разнообразие, отмечается более высокая их продуктивность и биологическая устойчивость по сравнению с насаждениями искусственного происхождения [12–16]. В связи с этим в настоящее время актуальным считается изучение состояния дубрав Белорусского Полесья и их естественного возобновления в условиях изменения климата.

Основная часть. Цель работы – изучить структуру дубрав и их естественное возобновление в Белорусском Полесье.

Объектами исследований являлись дубовые насаждения Белорусского Полесья.

Исследования проведены на 48 пробных площадях, из них в дубравах орляковых – 6 пробных площадей (ПП), черничных – 14 ПП, кисличных – 19 ПП и снытевых – 9 ПП. Пробные площади закладывались в дубовых насаждениях Речицкого, Мозырского, Буда-Кошелевского опытных лесхозов, Василевичского, Ельского лесхозов и ГЛХУ «Корневская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси».

Таксационную характеристику насаждений на пробных площадях определяли по общепринятым методикам [17–19]. Количество жизнеспособного подростка определялось путем его сплошного перечета на постоянных пробных площадях и закладываемых учетных площадках в соответствии с ТКП 047-2009 «Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь» [20].

Оценка успешности естественного возобновления леса в припевающих, спелых и перестойных дубовых насаждениях проведена на основе лесоустроительных сведений 16 лесхозов Гомельского ГПЛХО и 14 лесхозов Брестского ГПЛХО и полученных нами результатов на 48 пробных площадях по изучению естественного возобновления леса в дубовых насаждениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках договора № Б16К-010 от 21.10.2016 г.

Дубовые насаждения на территории Республики Беларусь распределены крайне неравномерно, 63% их площади расположены в южной части страны. Выполненный анализ такса-

ционных показателей дубрав свидетельствует о том, что в пределах Гомельского и Брестского ГПЛХО произрастают преимущественно средневозрастные и среднеполотные дубовые древостой II класса бонитета.

Анализ лесоустроительных материалов по лесовозобновительной способности дубрав Белорусского Полесья показал, что процент обеспеченности жизнеспособным подростом дуба и других хозяйственно ценных древесных пород составляет в среднем 13,9% от их общей площади. Отмечено его варьирование от 0,4% в Рогачевском лесхозе до 28% в Василевичском и Ельском лесхозах Гомельского ГПЛХО и от 2,1% в Полесском лесхозе до 37,9% в Ганцевичском лесхозе Брестского ГПЛХО.

Установлены различия и в распределении количества подростка в дубравах. Так, в среднем на 5,0% их площади имеется подрост дуба и других хозяйственно ценных древесных пород в количестве менее 1,0 тыс. шт./га. Максимальные площади данных дубрав отмечены в Василевичском и Речицком опытном лесхозах Гомельского ГПЛХО (рис. 1) и Пружанском, Брестском и Ивацевичском лесхозах Брестского ГПЛХО.

В Лоевском, Октябрьском и Мозырском опытном лесхозах Гомельского ГПЛХО, а также во всех лесхозах Брестского ГПЛХО, за исключением Ляховичского и Пружанского лесхозов, в дубравах имеется подрост хозяйственно ценных пород в количестве 1,1–2,0 тыс. шт./га. Средняя его обеспеченность в дубравах Белорусского Полесья составляет 24,7%.

В Белорусском Полесье имеются незначительные (9,6–11,3%) площади дубрав с жизнеспособным подростом хозяйственно ценных пород в количестве более 2,0 тыс. шт./га.

Наибольшие площади данных дубрав отмечаются в Петриковском лесхозе Гомельского ГПЛХО и Ляховичском лесхозе Брестского ГПЛХО, а в остальных лесхозах их доленое участие составляет от их полного отсутствия в Рогачевском, Чечерском, Буда-Кошелевском опытном, Жлобинском лесхозах Гомельского ГПЛХО и Ивацевичском, Полесском и Пружанском лесхозах Брестского ГПЛХО до 36,7% в Милошевичском и 26,4% в Кобринском лесхозах. При этом установлено, что средний возраст подростка хозяйственно ценных пород по данным лесоустройства составляет 15–36 лет, а его средняя высота – 3,0–6,0 м.

По данным лесоустройства в возрастной структуре естественного возобновления леса под пологом дубовых насаждений в среднем 2% их площади имеют подрост дуба и других хозяйственно ценных пород возрастом 1–5 лет; 7% – 6–10 лет; 37% – 11–20 лет; 43% – 21–30 лет и возрастом старше 30 лет – 11% (рис. 2).

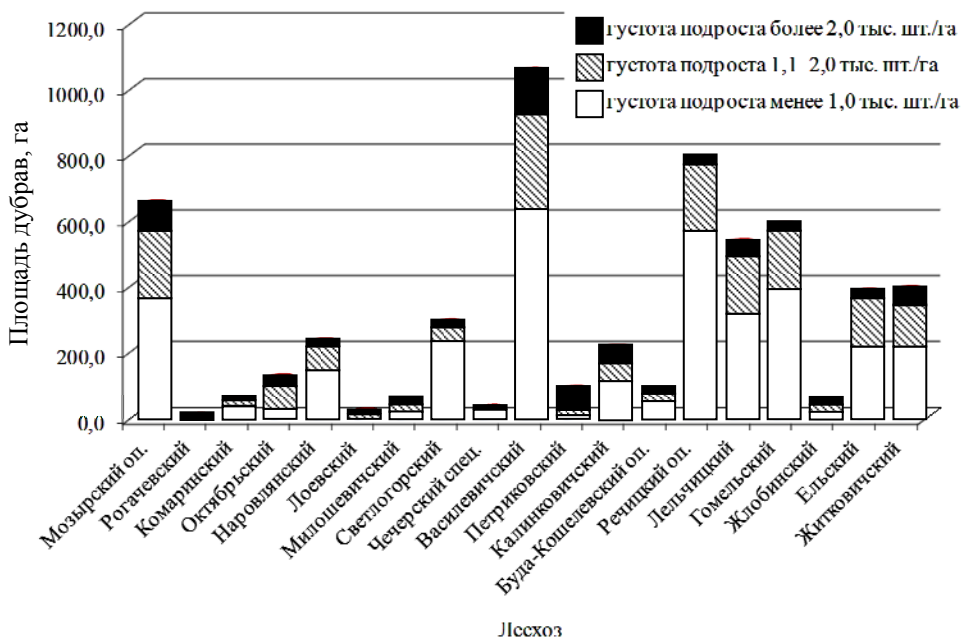


Рис. 1. Распределение жизнеспособного подроста дуба и других хозяйственно ценных древесных пород в дубравах (на примере лесхозов Гомельского ГПЛХО)

В дубравах Белорусского Полесья на площади в среднем 44,1% в составе естественного возобновления леса, кроме дуба, имеются граб, клен и ель.

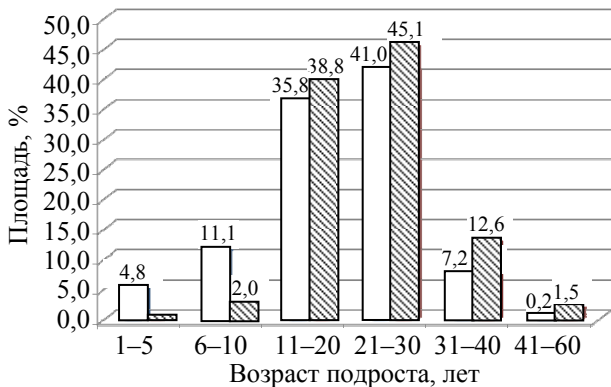


Рис. 2. Возрастная структура подроста дуба и других хозяйственно ценных пород в дубравах Белорусского Полесья

Выполненная оценка лесовозобновительной способности дубрав Белорусского Полесья в разрезе преобладающих типов леса свидетельствует о том, что в снытевом типе леса наибольшее количество жизнеспособного подроста дуба и других хозяйственно ценных древесных пород отмечено в Жлобинском, Василевичском, Ельском лесхозах Гомельского ГПЛХО и Кобринском, Дрогичинском, Ганцевичском лесхозах Брестского ГПЛХО, наименьшее – в Петриковском, Наровлянском, Лоевском лесхозах Гомельского ГПЛХО и Барановичском, Брестском, Ляховичском, Пинском, Полесском и

Пружанском лесхозах Брестского ГПЛХО. Средняя обеспеченность жизнеспособным подростом дуба и других хозяйственно ценных древесных пород в дубравах составляет 16,2%.

Анализ качественных характеристик подроста хозяйственно ценных пород (в том числе дуба) показал, что в дубравах снытевых преобладает благонадежный подрост. Средняя его высота составляет 4,3 м, возраст – 16–35 лет.

В дубравах кисличных долевое участие насаждений, имеющих подрост древесных пород, составляет в среднем 27,3%: от 4,2% в Лоевском до 57,9% в Василевичском лесхозах Гомельского ГПЛХО и от 1,8% в Малоритском до 100,0% в Полесском лесхозах Брестского ГПЛХО. В Речицком опытном, Гомельском, Лунинецком и Брестском лесхозах подрост в дубравах кисличных отсутствует.

Установлено, что в дубравах кисличных преобладает благонадежный подрост хозяйственно ценных пород при средней высоте 4,5 м и возрастом 15–35 лет. В дубравах Белорусского Полесья в среднем 18,5–25,0% их площади в черничной и орляковой сериях типов леса имеют подрост. Наибольшие площади с отсутствием подроста наблюдаются в дубравах черничных в Мозырском опытном и Лельчицком лесхозах Гомельского ГПЛХО и Лунинецком и Пинском лесхозах Брестского ГПЛХО, дубравах орляковых – Мозырском опытном и Петриковском лесхозах Гомельского ГПЛХО и Лунинецком и Брестском лесхозах Брестского ГПЛХО.

Выявлено, что как и в других типах леса, в дубравах черничных и орляковых также преобла-

дает благонадежный подрост. Средняя его высота составляет 4,3 м, возраст – 13–35 лет.

Результаты наших исследований лесовозобновительных процессов в дубравах Белорусского Полесья свидетельствуют о том, что наиболее успешное естественное возобновление дуба отмечено в дубравах орляковых и черничных (2,0–2,7 тыс. шт./га), наименее – дубравах кисличных и снытевых (1,1–1,7 тыс. шт./га). В составе подроста других древесных пород при количестве 0,8–1,2 тыс. шт./га доминируют граб и клен.

Заключение. 1. На территории Белорусского Полесья в среднем 77,6% площади дубрав не имеет подроста. В то же время благонадежный подрост дуба и других хозяйственно ценных пород присутствует на площади 8,5 тыс. га, что составляет в среднем 5,8% от общей площади дубрав Белорусского Полесья. Установлено, что 67,3% площади данных дубрав имеют в составе подрост в количестве 0,5–1,0 тыс. шт./га; 24,3% – 1,1–2,0 тыс. шт./га; 8,4% – 2,1–8,0 тыс. шт./га.

2. Наиболее успешно естественное возобновление дуба черешчатого наблюдается в

дубравах орляковых и черничных Гомельского ГПЛХО (соответственно 19,6% и 19,9% от общей их площади). В Брестском ГПЛХО отмечается преобладание подроста дуба в дубравах кисличных (13,6%) и черничных (13,3%). В дубовых насаждениях снытевого типа леса естественное возобновление дуба протекает менее успешно – 9,4% площади дубрав имеет подрост дуба и других хозяйственно ценных пород. Наиболее часто в составе подроста в дубравах отмечается возобновление граба и клена.

3. Под пологом дубовых насаждений количество жизнеспособного дубового подроста является в целом недостаточным для их успешного естественного возобновления без мер содействия. В связи с этим своевременное проведение рубок ухода, рубок главного пользования с сохранением подроста, применение несплошных видов рубок главного пользования, мероприятий по содействию естественному возобновлению леса будет способствовать формированию смешанных дубовых древостоев естественного происхождения.

Литература

1. Потапенко А. М. Восстановление плакорных смешанных дубрав с использованием естественного возобновления дуба черешчатого в условиях юго-востока Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / А. М. Потапенко; Ин-т леса НАН Беларуси. Гомель, 2015. 22 с.
2. Koponka Bohdan, Curiel Yuste Jorge, Janssens Ivan A., Ceulemans Reinhart Comparison of fine root dynamics in Scots pine and Pedunculate oak in sandy soil. *Plant and Soil*. 2005. Vol. 276. P. 33–45.
3. Bréda N., Granier A., Barataud F., Moyne C. Soil water dynamics in an oak stand I. Soil moisture, water potentials and water uptake by roots. *Plant and Soil*. 1995. Vol. 172. P. 17–27.
4. Götmark F. Careful partial harvesting in conservation stands and retention of large oaks favour oak regeneration. *Biological Conservation*. 2007. Vol. 140. P. 349–358.
5. Brzeziecki B Long-term dynamics of natural stands on the example of two forest communities of the Białowieża National Park: *Pino-Quercetum* and *Tilio-Carpinetum*. *Studia Naturae*. 2008. Vol. 54(2). P. 9–22.
6. Хрипченко М. С. О перспективах восстановления дубрав семенным путем // Восстановление эколого-ресурсного потенциала агролесобиоценозов, лесоразведение и рациональное природопользование в Центральной лесостепи и на юге России: сборник научно-исследовательских работ по материалам школы-конференции / ВГЛТА. Воронеж, 2008. С. 218–219.
7. Корнаковский Г. А. О возобновлении дубовых насаждений в Теллермановской роще // Лесопром. вестник. 1904. № 43. С. 649–653.
8. Хитрово А. А. К вопросу о судьбе дубрав средней России // Лесной журн. 1908. № 1. С. 42–58.
9. Гузовский Б. И. Хозяйство в нагорных дубравах Ильинского лесничества Казанской губернии. Козьмодемьянск: тип. Г. И. Зубкова, 1909. 50 с.
10. Paluch R. Natural regeneration of oak in the Biaowieza Primeval Forest Promotional Forest Complex – state, conditions and prospects. *Sylvan*. 2005. Vol. 149(1). P. 30–41.
11. Разработать программу лесовосстановления, лесоразведения и повышения лесистости в Республике Беларусь на период до 2020 года: отчет о НИР (заключ.) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т леса; рук. темы П. И. Волович. Гомель, 2010. 95 с. № ГР 20102371.
12. Нестеров Н. С. Очерки по лесоведению. М.: Изд-во с.-х. литературы. 1960. 488 с.
13. Жуков А. Б. Дубравы УССР и способы их восстановления // Дубравы СССР. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. Т. 1. С. 227–267.
14. Попов В. В. Научные основы выращивания широколиственных насаждений в северной лесостепи. М.: АН СССР, 1960. 317 с.

15. Лосицкий К. Б. Лесовосстановительный процесс в дубравах европейской части СССР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03 / К. Б. Лосицкий; Институт леса и древесины СО АН СССР. 1960. 46 с.
16. Петров В. А. Эколого-лесоводственные особенности естественного возобновления в расстроенных дубравах Чувашской Республики: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В. А. Петров. Казань, 2004. 21 с.
17. Багинский В. Ф. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР. М.: УБНТИлемхоз, 1984. 308 с.
18. Загреев В. В. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справочник / В. В. Загреев [и др.]. М.: Колос, 1992. 495 с.
19. Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь: ТКП 047-2009 (02080). Взамен ТКП 047-2006. Введ. 15.08.09. Минск: БелГИСС, 2009. 105 с.

References

1. Potapenko A. M. *Vosstanovleniye plakornykh smeshannykh dubrav s ispol'zovaniem estestvennogo vozobnovleniya duba chereschatogo v usloviyakh yugo-vostoka Belarusi: Avtoref. dis. kand. s.-khoz. nauk* [Renewal of upland mixed oak groves with use of natural renewal of the English oak in the conditions of the southeast of Belarus. Abstract of thesis cand of agricultural sci.]. Gomel, 2015. 22 p.
2. Konopka Bohdan, Curiel Yuste Jorge, Janssens Ivan A., Ceulemans Reinhart Comparison of fine root dynamics in Scots pine and Pedunculate oak in sandy soil. *Plant and Soil*. 2005, vol. 276, pp. 33–45.
3. Bréda N., Granier A., Barataud F., Moyne C. Soil water dynamics in an oak stand I. Soil moisture, water potentials and water uptake by roots. *Plant and Soil*. 1995, vol. 172, pp. 17–27.
4. Götmark F. Careful partial harvesting in conservation stands and retention of large oaks favour oak regeneration. *Biological Conservation*. 2007, vol. 140, pp. 349–358.
5. Brzeziecki B Long-term dynamics of natural stands on the example of two forest communities of the Białowieża National Park: Pino-Quercetum and Tilio-Carpinetum. *Studia Naturae*. 2008, vol. 54(2), pp. 9–22.
6. Khripchenko M. S. About the prospects of renewal of oak groves in the seed way. *Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot po materialam shkoly-konferentsii ("Vosstanovleniye ekologo-resursnogo potentsiala agrolesobiotsenozov, lesorazvedeniye i ratsional'noye prirodepol'zovaniye v Tsentral'noy lesostepi i na yuge Rossii")* [Collection of research works on materials of school conference ("Renewal of the ecological and resource potential of agroforebiocenoses, afforestation and rational environmental management in the Central forest-steppe and in the south of Russia")]. Voronezh, 2008, pp. 218–219 (In Russian).
7. Kornakovskiy G. A. About the renewal of oak plantations in the Tellermanovskiy grove. *Lesoprom. vestnik* [Industry Messenger], 1904, no. 43, pp. 649–653 (In Russian).
8. Khitrovo A. A. To the question of the fate of oak groves of Central Russia. *Lesnoy zhurn.* [Wood Journ.], 1908, no. 1, pp. 42–58 (In Russian).
9. Guzovskiy B. I. *Khozyaystvo v nagornykh dubravakh Il'inskogo lesnichestva Kazanskoj gubernii* [Management in mountain oak groves of Ilyinsky forest area of Kazan province]. Kozmodemyansk, Type. G. I. Zubkova Publ., 1909. 50 p.
10. Paluch R. Natural regeneration of oak in the Biaowieza Primeval Forest Promotional Forest Complex – state, conditions and prospects. *Sylvan*. 2005, vol. 149(1), pp. 30–41.
11. Volovich P. I. *Razrabotat' programmu lesovosstanovleniya, lesorazvedeniya i povysheniya lesistosti v Respublike Belarus' na period do 2020 goda* [To develop the program of reforestation, afforestation and increase in woodiness in the Republic of Belarus until 2020]. Gomel, 2010, 95 p. no. 20102371 (In Russian).
12. Nesterov N. S. *Ocherki po lesovedeniyu* [Sketches on silviculture]. Moscow, Izd-vo s.-kh. literatury Publ., 1960. 488 p.
13. Zhukov A. B. Oak groves of the USSR and ways of their renewal. *Dubravyy SSSR* [Oak groves of the USSR], 1949, vol. 1, pp. 227–267 (In Russian).
14. Popov V. V. *Nauchnyye osnovy vyrashchivaniya shirokolistvennykh nasazhdeniy v severnoy lesostepi* [Scientific bases of cultivation of broad-leaved plantations in the northern forest-steppe]. Moscow, AN SSSR Publ., 1960. 317 p.
15. Lositskiy K. B. *Lesovosstanovitel'nyy protsess v dubravakh evropeyskoj chasti SSSR: Avtoref. dis. dokt. s.-kh. nauk* [Reforestation process in oak groves of the European part of the USSR. Abstract of thesis doct. of agricultural sci.]. Moscow, 1960. 46 p.

16. Petrov V. A. *Ekologo-lesovodstvennyye osobennosti estestvennogo vozobnovleniya v rasstroennykh dubravakh Chuvashskoy Respubliki: Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Ecological and silvicultural features of natural renewal in the disordered oak groves of the Chuvash Republic. Abstract of thesis cand. of agricultural sci.]. Kazan', 2004. 21 p.

17. V. F. Baginsky *Normativnyye materialy dlya taksatsii lesa Belorusskoy SSR* [Standard materials of forest inventory of the Belarussian SSR]. Moscow, 1984. 308 p.

18. Zagreev V. V., Sukhikh V. I., Shvidenko A. Z., Gusev N. N., Moshkalev A. G. *Obshchesoyuznyye normativy dlya taksatsii lesov: spravochnik* [All-Union standards for forest inventory. Directory]. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p.

19. ТКР 047-2009 (02080). Steady forest management and forest exploitation. Manual on reforestation and afforestation in the Republic of Belarus. Minsk, Belorusskiy gosudarstvennyy institut standartizatsii i sertifikatsii Publ., 2009. 105 p. (In Russian).

Информация об авторах

Потапенко Антон Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем почвоведения и реабилитации антропогенно нарушенных лесных земель. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: anto_ha86@mail.ru

Усеня Владимир Владимирович – доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор, заведующий лабораторией проблем восстановления, защиты и охраны лесов. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

Information about the authors

Potapenko Anton Mikhaylovich – PhD (Agriculture), Senior Researcher, the Laboratory of Problems of Soil Science and Rehabilitation of Anthropogenically Disturbed Forest Lands. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: anto_ha86@mail.ru

Usenya Vladimir Vladimirovich – DSc (Agriculture), Corresponding Member of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, Head of the Laboratory of Problems of Restoration, Protection and Conservation of Forest. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

Поступила 06.02.2018

УДК 630*226+630*64

В. В. СарнацкийИнститут экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси**ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЕСОВ**

Показаны некоторые аспекты повышения эффективности выращивания лесов будущего. Становление и развитие рыночных отношений определяет необходимость постоянного снижения затрат на выращивание, заготовку и восстановление древесных ресурсов, в том числе и в условиях периодического экстремального проявления экологических факторов на основе рационального природопользования и максимально возможного использования потенциальной производительности эдафотопов для той или иной древесной породы (или пород в смешанном древостое) и лесной формации в целом. В совокупности это приведет к изменению породного состава, продуктивности и типологической структуры лесных насаждений республики.

Ключевые слова: лесной древостой, экология, затраты на выращивание, заготовку древесины, восстановление древесных ресурсов, выращивание насаждений; максимально возможное использование потенциальной производительности эдафотопов.

V. V. SarnatskiyV. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany
of the National Academy of Sciences of Belarus**SILVICULTURAL-ECONOMIC ASPECTS OF FOREST GROWING**

Some aspects of increasing the efficiency of growing forests of the future are shown. Formation and development of market relations determines the need to constantly reduce the costs of growing, harvesting and restoring wood resources, including in the conditions of periodic extreme manifestation of environmental factors based on rational nature management and the maximum possible use of potential productivity edafotop for a particular tree species (or breeds in a mixed stand) and the forest formation as a whole. Together, this will lead to a change in the breed composition, productivity and typological structure of forest stands of the republic.

Key words: forest stand, ecology; costs of cultivation, harvesting of wood, restoration of wood resources; growing of stands; maximum possible use of potential productivity of edaphotopes.

Введение. Развитие науки как системы знаний о природе, обществе и нематериальных ценностях, разносторонних областях деятельности человека, одним из продуктов которой является теория, представляет различные возможности для прогнозирования некоторых аспектов выращивания лесов будущего и раскрытия особенностей экстремального проявления экологических факторов на лесные насаждения, выявления закономерностей функционирования древостоев, произрастающих в тех или иных условиях внутренней и внешней среды [1–15], повышения экономической эффективности лесохозяйственного производства с учетом требований рационального природопользования, экономики и экологии. Становление рыночных отношений определяет актуальность устойчивого уменьшения материальных, финансовых затрат на заготовку древесины и другой продукции леса, восстановление древесных ресурсов, выращивание насаждений будущего. Периодически повторяющаяся экстремальная экологическая ситуация (засуха, ветровал, снеголом и другие явления) обуславливает с экономической точки зрения необходимость изме-

нения обычного режима функционирования лесного хозяйства и технологии выращивания лесов с целью преодоления, минимизации ее последствий, эффективность которого во многом определяется реакцией древостоев на действие повреждающих факторов и оперативностью работы лесохозяйственного производства.

Цель работы – совершенствование представлений в области функционирования лесных древостоев в условиях периодического экстремального проявления абиотических, биотических факторов, методов и технологий выращивания лесов будущего. Методической основой ее выполнения послужили общепринятые в лесоведении, лесоводстве, экологии методики исследований. Объекты исследований – хвойные и лиственные насаждения различной полноты, породного состава, типологического статуса и состояния, возраста древостоев.

Основная часть. Технологические особенности и составляющие элементы практической реализации комплекса организационно-технических, хозяйственных мероприятий во многом находятся в зависимости от тех или иных показателей отклонения экологических факторов от

нормы и его фазы (начало воздействия экстремального проявления климатических, погодных условий или влияния массового размножения патогенных организмов и вредителей леса на состояние древостоя, максимум, затухание, период последействия и т. д.).

Особое значение в этой ситуации отводится разработке новых, совершенствованию имеющихся критериев ранней диагностики ухудшения состояния деревьев, которые необходимо вырубать до того, как они усохнут. Используемые критерии должны быть доступны в повседневной работе работникам лесного хозяйства. Следует отметить, что в своем большинстве эти критерии ранней диагностики ухудшения состояния дерева по своей природе и времени проявления относятся к физиологическим аспектам функционирования растительного организма в условиях периодического экстремального проявления климатических (погодных условий), а превышение естественного фона фитопатогенных организмов и вредителей леса до порога (уровня) вредности и более происходит по истечении определенного последующего периода времени (до 1–2 лет и более) после начальной фазы повреждения деревьев экстремальным проявлением экологических факторов (или фактора).

Ранее нами усовершенствованы представления о типах повреждения крон. Для хвойных деревьев это вершинный; вершинно-периферийный; очаговый; низовой; периферийный; равномерный. Типы повреждения крон деревьев лиственных пород следующие: единичные очаги дефолиации отдельных ветвей; небольшие очаги повреждения боковых ветвей; крупные очаги повреждения ветвей; преимущественно крупные очаги повреждения кроны; листья сконцентрированы на периферии боковых ветвей; основная часть кроны повреждена, что положено в основу разработанной технологии рекогносцировочного обследования состояния деревьев [6, 9–11].

Деревья I–IV классов Крафта: хвойные, имеющие вершинное, вершинно-периферийное, подвершинное и равномерное повреждение крон с потерей хвои более 50%; лиственные, имеющие крупные очаги повреждения крон или у которых листья сконцентрированы на периферии боковых ветвей, а также с повреждением основной части кроны следует отводить в рубку.

Методические рекомендации по ранней диагностике ухудшения состояния хвойных и лиственных пород в насаждении [11] содержат регламент проведения рекогносцировочного обследования древостоев. Хвойные насаждения необходимо обследовать не реже двух раз в год (весной и в осень), а лиственные – 1 раз в год (июнь – июль). Деревья, не имеющие дальней-

шей перспективы роста, отмечают резчиком, затеской, в пересчетной ведомости и вырубает непосредственно в ходе проведения обследования или в течение 1–2 мес. в зависимости от экологической ситуации, сложившейся в том или ином древостое.

Обследуя хвойные деревья, особое внимание следует уделять оценке состояния почек верхушечного побега и боковых ветвей верхней мутовки, коры в верхней половине кроны и наличию смоляных потеков по стволу дерева в результате поселения короедов. Признаки частичного отслоения коры в этой части кроны являются основанием для назначения дерева в рубку.

Обследование можно проводить в рамках мониторинга лесных насаждений с соответствующим изменением его периодичности и сроков наблюдения, которые во многом обусловлены видоспецифичностью реакции деревьев на действие повреждающих факторов или как самостоятельное мероприятие. Используются как постоянные пробные площади (участки), так и временные маршрутные ходы, охватывающие все таксационные выделы средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждений в квартале, обходе, лесном массиве.

Начинать маршрутный ход рекомендуем с северной части таксационного выдела, продвигаясь в направлении с запада на восток и обратно, заканчивая его в южной части. Крупные выделы возможно обследовать по частям, используя при этом имеющиеся технологические коридоры, дороги, визирные линии и т. п.

Работы необходимо проводить механизированной бригадой лесорубов в составе 3–4 человек. Практическая реализация результатов рекогносцировочного обследования, с одной стороны, является одним из аспектов комплекса мероприятий по профилактике, преодолению и минимизации последствий аномального усыхания деревьев. С другой – хозяйственным мероприятием по рациональному использованию древесных ресурсов в условиях обычной флуктуации климатических, биотических факторов, проводимым в дополнение к требованиям, изложенным в «Правилах рубок леса в Республике Беларусь», «Санитарных правилах» и др.

Последствия периодического аномального усыхания деревьев, ветровалов, снеголомов, интенсивного изреживания древостоя рубками леса в большинстве случаев ощущаются в последующие 3–5 лет и более после прекращения экстремальной засухи и аномального изреживания древостоя. В это время в поврежденных насаждениях периодичность и сроки рекогносцировочного обследования такие же, как и в годы экстремального проявления засухи или других экологических факторов.

Кроме обеспечения рационального использования древесных ресурсов, важное функциональное назначение рубок леса – способствовать восстановлению и формированию древостоев. Результаты исследований особенностей проведения рубок ухода, особенно в ельниках, в том числе и в условиях засухи (показатели которой не превышают пределы толерантности ели), позволили установить, что изреживание древостоя сильной и средней интенсивности по запасу стволовой древесины или числу вырубаемых деревьев уместно лишь в ходе проведения осветлений, прочисток, осуществляемых в основном с целью ограничения примеси листовых пород и выборки поврежденных деревьев. Прореживания, проходные рубки целесообразно проводить лишь слабой интенсивности и по комбинированному методу, заканчивая их применение в зависимости от состояния древостоя в возрасте ели 40–60 лет.

Следует отметить, что существенное повышение эффективности выращивания лесов в сложившихся экологических условиях возможно на основе реализации современных подходов по предотвращению ущерба от аномального усыхания, повреждения хвойных и листовых древостоев, снижения технических свойств стволовой древесины путем **вырубки сильно ослабленных, усыхающих деревьев до того, как они усохнут**.

Эта работа проводится **взамен** мероприятий по ликвидации, минимизации последствий экстремального проявления абиотических, биотических факторов; уменьшения затрат на восстановление (воспроизводство) древесных ресурсов и выращивание насаждений в соответствии с экономической целесообразностью и необходимостью удовлетворения спроса на древесину в условиях развивающихся рыночных отношений в экономике.

Немаловажное значение в этом случае имеет, как уже упомянуто выше, своевременное изменение режима функционирования лесохозяйственных учреждений и ведомств, адекватного экологической ситуации. Отметим, что проведение подобных работ (рекогносцировочное обследование древостоев и рубка деревьев до того, как они усохнут) несколько увеличивает затраты на заготовку древесины в сравнении со сплошными санитарными рубками, однако они являются неотъемлемым компонентом рационального природопользования.

Необходимо отметить, что решительные меры, принятые Минлесхозом и его подведомственными учреждениями, позволили в определенной мере минимизировать потери древесного сырья в усыхающих и усохших в последние годы сосновых насаждениях путем проведения

выборочных и сплошных санитарных рубок. Однако до настоящего времени так и не были выяснены основные причины ослабления состояния сосняков в различных регионах республики, массового размножения стволовых вредителей (короедов), а также не создан коллектив ученых (по примеру созданного на рубеже XX–XXI ст. временного коллектива исследователей усыхающих ельников под руководством профессора Федорова Н. И.), что не позволило обстоятельно изучить эту проблему, обоснованно разработать, апробировать организационно-технические, хозяйственные мероприятия по предупреждению подобных ситуаций в сосновых насаждениях в будущем.

На фоне снижения затрат на заготовку древесины, восстановление древесных ресурсов и выращивание лесов в соответствии с законами рыночных отношений потребуется широкий комплекс лесохозяйственных мероприятий по повышению продуктивности и устойчивости древостоев, ускоренному целевому выращиванию тех или иных сортиментов и древесных пород. Заслуживает внимания накопленный в лесном хозяйстве опыт [14] применения несплошных рубок главного пользования лесом с целью применения полезных свойств естественного восстановления древостоев.

Рубка леса, использование на лесозаготовках многооперационной техники обуславливают неукоснительное соблюдение не только экономических, а и лесоводственных требований по уборке порубочных остатков с лесосеки и **их переработке**, например, в щепу и лишь в отдельных случаях при небольшом количестве равномерному разбрасыванию или сжиганию.

Рассуждая о снижении затрат на восстановление и выращивание насаждений, следует отметить, что вырубки на гидроморфных и в некоторых случаях на полугидроморфных почвах целесообразно оставлять под естественное заращение с последующим уходом за древостоем. Типы лесных культур, их породный состав определяют почвенно-гидрологические условия и категория лесокультурной площади. Исходя из необходимости снижения затрат на восстановление, воспроизводство древесных ресурсов, оперативного реагирования на существующий спрос рынка той или иной древесной продукции, в том числе и его породной структуры, возрастает актуальность: 1) **максимально возможного использования потенциальной производительности почвы для той или иной породы или пород в смешанном древостое**; 2) **создания типологии лесов на этой основе взамен применяемой в настоящее время доминантной (эдафо-фитоценотической) классификации**.

В особой мере это относится к существующим теоретическим и практическим проблемам дифференциации лесных формаций, типов леса и ассоциаций в связи с интенсификацией антропогенного воздействия на лесную растительность, условия местопроизрастания. Используемая в настоящее время в практике лесоустроительных работ типология лесов создана в условиях экстенсивного ведения лесного хозяйства и преобладания в лесном фонде республики приспевающих, спелых древостоев естественного происхождения с соответствующей этому возрасту их продуктивности (бонитету) и известной его вариабельностью в пределах каждого типа леса [1–5] в современных условиях интенсификации лесохозяйственного производства, не лишена субъективизма и неопределенности в дифференциации насаждений искусственного происхождения, особенно молодых и мертвопокровных древостоев искусственного происхождения, а также созданных на землях, выведенных из сельскохозяйственного пользования. Для более полного раскрытия упомянутых выше положений следует обратиться к истории и условиям создания существующей региональной доминантной классификации [5] типов леса.

Развивая ее основные положения, белорусские ученые [1, 2–4, 5] постепенно переходят от понимания типа леса как синонима лесной ассоциации к представлению о лесной ассоциации как конкретной форме существования типов леса в виде совокупности причинно-обусловленных ассоциаций и характеризующих эдафо-фитоценотическую изменчивость (вариабельность) того или иного типа леса.

Подобный подход белорусских ученых-лесотипологов в определенной мере не согласуется с представлениями одного из наиболее признанных и почитаемых корифеев лесной типологии Сукачева В. Н., который неоднократно подчеркивал, что однородность типа леса относительно и ассоциация – это тип однородных фитоценозов, низший таксон классификации растительности, а тип леса – элементарный таксон классификации биогеоценоза и в этом случае понятия ассоциации и типа лесного биогеоценоза находятся на разном уровне (градации) в биогеоценологическом аспекте и, соответственно, в разных системах и координатах измерения [3]. До настоящего времени отсутствуют единые, общепризнанные научные и практические подходы к определению однородности типов леса и ассоциаций, достоверные критерии их оценки, в той или иной мере лишенные субъективизма. Существующие и по сей день эти разные точки зрения на упомянутые выше проблемы, как показали

время и результаты дальнейших исследований белорусских ученых, имеют полное право на существование и дальнейшее теоретическое развитие, широкое применение в практике регионального устройства лесов.

В. С. Гельтман [2], излагая результаты комплексных биогеоценологических исследований и развивая существующие уже в то время представления о лесной ассоциации как элементарной типологической единице (при этом тип леса рассматривали как таксон более крупного ранга), дифференцирует эти понятия и предпринимает попытку изложения нового взгляда на типологию лесов, разделяя в полной мере сформулированное В. Н. Сукачевым определение, согласно которому тип леса как тип лесного биогеоценоза характеризуется однородностью слагающих его компонентов (фитоценотические признаки и факторы среды), обоснованно полагая при этом, что мера однородности факторов среды для типа леса шире, чем для лесной ассоциации (тип фитоценоза), которая является конкретной формой (вариантом) существования типа леса и мерой его однородности в эколого-фитоценологическом аспекте [1].

Тип леса (например, сосняк вересковый, сосняк мшистый, сосняк долгомошный, ельник кисличный, ельник приручейно-травяной, дубрава орляковая, березняк лишайниковый, черноольшаник снытевый и др.) во всех случаях охватывает ряд ассоциаций (совокупность причинно-обусловленных ассоциаций), характеризующих его эколого-фитоценотическую изменчивость в тех или иных условиях (например, ельник папоротниково-приручейно-травяной, ельник осиново-приручейно-травяной, ясенник елово-грабово-таволговый, сосняк елово-долгомошный, ельник дубово-кисличный, дубрава елово-кисличная, березняк сосново-вересковый, осинник сосново-приручейно-травяной, сероольшаник кислично-черничный и др.) и относительно однородность.

Изучая изменчивость последних по различным признакам, В. С. Гельтман [1] дифференцирует их на следующие категории: возрастные; эдафически сопряженные; радиационно-экологические; фитоценотически замещающие; дигрессивно-демутационные; климатически-замещающие ассоциации, подчеркивая при этом, что в разных климатических и (или) геоботанических зонах могут быть выделены климатически замещающие типы леса и лесные ассоциации (с присущими им процессами формирования, развития и смены), которые следует понимать как элементарные составные части (низшая таксономическая единица) типов лесных биогеоценозов, в сгруппированном виде уточняющие объем типа леса и способствующие выяснению при-

чин различия его структуры и критериев выделения как хозяйственной единицы.

Возрастные ассоциации типов леса характеризуют те или иные возрастные стадии динамики эдификаторной синузиды фитоценоза в направлении ее развития или деградации. Эдафически сопряженные ассоциации проявляются в некоторой вариабельности богатства, влажности почвы, выраженном в соответствующем варьировании растительности. В случае, когда различия в растительности не обусловлены возрастными стадиями и экотопическими отклонениями, например под пологом сосны в сосняке кисличном может формироваться (а может и не формироваться) примесь березы и (или) осины, ели и других древесных пород при прочих равных условиях формирования древостоя, – это фитоценологически замещающие ассоциации.

Дигрессивно-демутационные ассоциации обусловлены вмешательством человека (рубка леса, вытаптывание напочвенного покрова и т. п.) или стихийными воздействиями природных факторов (засуха, мороз, пожар и т. д.). Радиационно-экологические ассоциации обусловлены неоднородностью, варьированием условий освещения и теплообеспеченности, определяющих за собой те или иные изменения в составе и структуре, динамике растительности. Климатически замещающие ассоциации характеризуют климатически обусловленное замещение видов наземного покрова, подлеска при сохранении тех же эдификаторов древесного яруса. Именно эти категории ассоциаций все еще остаются дискуссионными в дифференциации своих проявлений, облика и оценке реакции эдификаторных синузид фитоценоза на воздействие абиотических, биотических, антропогенных факторов, недостаточно изученными и в то же время определяющими основное затруднение в теоретическом аспекте и практике выделения тех или иных типов леса в современных экологических условиях.

Каждая эдафически сопряженная ассоциация может изменяться во времени и ее замещают несколько возрастных, и, наоборот, каждая возрастная ассоциация может иметь несколько вариантов эдафически сопряженных ассоциаций, которые, в свою очередь, могут замещаться радиационно-экологическими, фитоценологически замещающими и дигрессивно-демутационными. Подобные связи и зависимости существуют и у возрастных ассоциаций типа леса. Иными словами, ассоциации характеризуют экологическую амплитуду лесного биогеоценоза, а также процессы внутреннего естественного развития и антропогенно обусловленного изменения типа леса. Дальнейшее изучение лесных ассоциаций и их динамики, взаимосвязей позволит более

глубоко раскрыть сложные взаимосвязи и динамику формирования лесных биогеоценозов [1, с. 130–147], что, безусловно, послужит теоретической предпосылкой для обоснования критериев (меры) однородности и уменьшения доли субъективизма в практике дифференциации как естественных, так и антропогенно обусловленных ассоциаций и типов леса.

Определяя, разграничивая и оценивая в той или иной мере соотношение понятий «тип леса» и «ассоциация», следует отметить, что общими для них белорусские ученые приводят два основных признака – древесная порода-эдификатор и вид-доминант в нижних ярусах растительного покрова. Осушение прилегающих к лесным массивам сельскохозяйственных земель и болот, в том числе и лесного фонда, обусловило изменение свойств эдафотопов, растительности нижних ярусов и древостоя в целом, выделение мелиоративно-производных типов леса.

Кроме того, интенсификация рубок леса определяет известные изменения в возрастной, породной структуре древостоев, видовом составе напочвенного покрова, подлеска, подроста, а также в соотношении площадей древостоев естественного происхождения и искусственных насаждений. По этой и другим причинам существенно возросло долевое участие порослевого возобновления деревьев в лесных насаждениях. Интенсификация других видов антропогенного воздействия на лесную растительность (рекреационное, бальнеологическое использование и т. д., промышленное загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и почвенно-грунтовых вод, почвы и других компонентов среды произрастания) привело к нарушению природного облика и режима функционирования лесов. Естественное (в основном это иссушение корнеобитаемых слоев почвы) и антропогенно обусловленное колебание гидрологического режима (иссушение или подтопление почвы, в том числе и в результате жизнедеятельности бобра) также приводит к смене видов живого напочвенного покрова, подлеска, подроста и породного состава древостоя, снижению санитарного состояния, продуктивности и устойчивости насаждений.

В совокупности это вызвало значительные изменения в формировании подстилки, видов и структуры живого напочвенного покрова, других ярусов лесных фитоценозов, породного состава, продуктивности и устойчивости древостоев. До настоящего времени недостаточно изучена возрастная динамика продуктивности молодняков, средневозрастных древостоев искусственного и естественного происхождения, что обуславливает определенные затруднения в дифференциации типов леса и в некоторых случаях лесных формаций (особенно в мертво-

покровных чистых и смешанных насаждениях) и в связи с известной динамикой бонитетов в разном возрасте и полноте древостоев, сомкнутости полога, проникновением под полог не свойственных (инвазионных) видов напочвенного покрова, подлеска и подроста, изменением свойств эдафотопы, обуславливающего повышение или снижение бонитета древостоя, смену видов растительности и т. д.

Дальнейшее дробление типов леса в существующей классификации (где уже выделено, например, в ельниках 12 типов леса и более 100 ассоциаций), а в целом лесной фонд Беларуси представлен 133 типами леса, в которых дифференцировано около 1000 «важнейших ассоциаций» [5], представляется нам нецелесообразным как с практических (в том числе и экономических), так и биогеоценотических соображений.

Облик лесов будущего в силу разных причин будет, несомненно, по своей структуре и растительности существенно отличаться от древостоев естественного происхождения. С одной стороны, это подчеркивает объем работы, проведенной белорусскими учеными, а с другой — указывает на целесообразность проведения подобных исследований в лесах, в разной мере подверженных антропогенному воздействию, что, безусловно, будет востребовано лесохозяйственным производством в настоящее время и в недалеком будущем.

Существенно увеличиваются актуальность, научная значимость результатов проведенных научно-исследовательских работ в области типологии лесов в сложившихся условиях. Возрастает необходимость и целесообразность изучения, систематизации (классификации) влияния антропогенного воздействия на растительность и среду произрастания, совершенствования представлений о закономерностях формирования разных категорий лесных ассоциаций, упомянутых выше, и других, выделенных в ходе проведения исследований антропогенно обусловленной лесной растительности, их взаимосвязях в существующей фитоценотической, экологической ситуации с соответствующим прогнозом их дигрессивно-демулационной динамики.

Классификационное построение антропогенного воздействия на лесную растительность и среду произрастания должно быть теоретически обоснованным и кратким (2–4 градации), позволяющим включить в его состав уже выделенные мелиоративно-производные типы леса, расширить список лесных ассоциаций каждого типа леса в различных лесных формациях и существующего в классификации [5] диапазона бонитета древостоев с учетом их продуктивности в разных классах возраста и особенностей динамики эдафических условий.

Исходя из прагматических соображений и результатов анализа особенностей функционирования предприятий лесного комплекса других стран, отметим, что в настоящее время и в недалеком будущем наиболее полное удовлетворение спроса на древесные ресурсы в условиях становления рыночных отношений в экономике возможно лишь в условиях высокоэффективного, интенсивного лесохозяйственного производства, в полной мере использующего потенциальную производительность эдафотопы для той или иной древесной породы или пород в смешанном древостое.

На общем фоне снижения затрат на заготовку древесины, восстановление древесных ресурсов и выращивание лесов в соответствии с законами рыночных отношений потребуются широкий комплекс лесохозяйственных мероприятий по повышению продуктивности и устойчивости древостоев, ускоренному целевому выращиванию тех или иных сортиментов и древесных пород. Один из вариантов этого комплекса мероприятий в современном представлении — это так называемое плантационное лесоводство [13]. Уже недалекое будущее, безусловно, принадлежит высокоинтенсивному лесному хозяйству, включая рациональное использование древесных и недревесных ресурсов леса, восстановление и выращивание лесов, в максимально возможной мере используя потенциальную производительность эдафотопы.

В задачу настоящего краткого сообщения (не претендующего на полноту изложения всех аспектов в анализе соотношения понятий лесная ассоциация, тип леса и лесотипологический комплекс, как это тщательно выполнено В. С. Гельтманом в его обстоятельной монографии [1] и других литературных источниках) не входит подробный анализ основных направлений развития методов использования, восстановления и формирования лесов будущего. Немалые успехи достигнуты к настоящему времени и в применении различных технологий искусственного восстановления лесов, их формирования с использованием новейших достижений науки и лесохозяйственной практики в проведении различных рубок леса (рубки главного пользования и ухода за лесом, санитарные рубки и т. д.), а также мероприятий по повышению продуктивности и устойчивости насаждений.

В этих условиях дальнейшее совершенствование типологии лесов антропогенного и естественного происхождения, несомненно, будет иметь актуальность и практическое значение.

В. С. Гельтман [1] определяет положение лесной формации в существующей системе таксономических категорий как средний ранг (таксон) и понимает ее как совокупность лесов,

произрастающих на определенной территории с господством (доминированием) одного или одних и тех же видов по признаку их однородности в древесном ярусе (например, сосновая, грабовая, еловая, черноольховая формации и др.), указывая на свойственную каждой формации экологическую размерность и выделяя в ее пределах субформации (елово-сосновая, дубово-сосновая, березово-сосновая и др.), каждая из которых охватывает несколько типов леса в рамках определенной части эдафо-фитоценотического ряда формации с присущими ей эдафо-фитоценотическими, сукцессионными и зонально-климатическими взаимосвязями, в том числе и межформационными.

Теоретические основы и практические методы геоботанического, лесорастительного районирования территории Беларуси В. С. Гельтман [1] разрабатывал с той или иной мерой детализации в разные годы. Тип леса – элементарная (низшая) единица (таксон) на лесной территории, а территориальное сочетание типов леса – это лесотипологический комплекс (ЛТК) как низшая и основная единица лесорастительного, геоботанического районирования природного территориального комплекса (ПТК), обусловленная закономерным сочетанием типов леса, рельефом, почвенными разновидностями и гидрологическими условиями. В свою очередь геоботаническое и лесорастительное районирование с использованием картографического метода является основой районирования растительного покрова. Высшие таксоны легенды карты содержат формационную структуру лесов или их искусственное объединение как более крупный таксон картографирования растительности.

Дифференциация лесотипологических комплексов с научной и практической точек зрения необходима прежде всего с целью территориального анализа лесной растительности лесорастительных условий; районирования лесов и установления границ лесорастительных и геоботанических регионов; выделения ландшафтных и территориальных структур; территориальной конкретизации функционального значения лесов и болот; определения оптимальной лесистости и возможностей преобразования угодий; выяснения целесообразности осушительных мелиораций; анализа фаунистического и охотничье-промыслового потенциала лесов; выявления районов заготовки лекарственного, пищевого и иного сырья в лесах; определения возможностей развития лесохозяйственного производства; выделения зон отдыха и туризма; разработки комплексных вопросов охраны природы [1, с. 293–294]. В условиях исследования растительности в регионах со свойствен-

ными им сочетаниями тех или иных типов растительности (типы мезокомбинации лесов и болот) возможно выделение ЛТК и в более широком представлении – лесо-болотных типологических комплексов (ЛБТК).

Дальнейшее развитие исследований в рамках лесоустройства, лесостроительного проектирования на почвенно-типологической основе в условиях Беларуси способствовало выделению почвенно-типологических групп (ПТГ) как совокупности почвенных разновидностей со сходным лесорастительным эффектом, объединяющей сукцессионные ряды типов леса, используемые для дифференциации ЛТК на основе закономерностей территориального сочетания ПТГ, при этом ЛТК, входящие в геоботанический район, образуют комплекс лесных массивов (КЛМ), в совокупности уточняющих, конкретизирующих рубежи геоботанического, лесорастительного районирования территории республики.

Необходимо отметить, что эти важные для лесоведения, лесохозяйственного производства положения теории и практики лесной типологии, геоботаники по разным причинам не получили в дальнейшем должного развития в работах его учеников и последователей, что обусловило некоторые затруднения в практике лесоустройства в области дифференциации существующих антропогенно-производных типов леса той или иной формации, произрастающей в условиях современной интенсификации пользования лесными ресурсами и широкомасштабного осушения лесных, сельскохозяйственных земель и болот, других разновидностей антропогенного воздействия на лесную растительность и среду произрастания. В целом же созданная несколько десятилетий тому назад региональная классификация типов леса признана специалистами лесохозяйственного производства в республике и за ее пределами, с разной мерой успешности применяется до настоящего времени в практике лесоустройства.

С определенным и неизменным оптимизмом глядя в будущее, необходимо отметить, что классификация подобных насаждений по типам леса должна быть значительно проще существующей в настоящее время (по аналогии длительно существовавшей ранее классификации, например сосна по болоту или суходолу) с дифференциацией почвы для той или иной выращиваемой древесной породы (или пород и лесной формации в целом) по потенциальной производительности и условиям увлажнения: автоморфные почвы атмосферного, атмосферно-грунтового увлажнения; полугидроморфные и гидроморфные или заболоченные почвы. Развитие и использование существующих классификаций растительности, в том числе и лесной

(доминантная или эдафо-фитоценотическая, эколого-флористическая и др.), послужит дальнейшему совершенствованию теоретических представлений в биологии леса, особенно в условиях запретных зон особо охраняемых природных территорий, заказников, заповедников, а также и так называемых эксплуатационных лесов, подверженных антропогенному воздействию различной интенсивности.

Будущее принадлежит высокоинтенсивному лесному хозяйству, включая рациональное использование древесных и недревесных ресурсов леса, восстановление и выращивание лесов, в максимально возможной мере используя потенциальную производительность эдафотопов, снижение материальных и финансовых затрат на выращивание древостоев.

Заключение. Пути повышения эффективности выращивания лесов будущего различны. Дифференциация почвенно-типологических групп лесов, основанная на потенциальной произво-

дительности эдафотопов, позволяет оценить реальные возможности насыщения рынка древесной продукцией и уже только это, без учета затрат на разработку, проведение мероприятий по повышению продуктивности, устойчивости древостоев и оценку их эффективности – одно из перспективных направлений в науке и лесохозяйственной деятельности. Становление и развитие рыночных отношений в экономике определяет необходимость снижения затрат на выращивание, заготовку и восстановление древесных ресурсов с максимально возможным использованием потенциальной производительности эдафотопов для той или иной древесной породы, пород в смешанном древостое. В совокупности это приведет к существенному изменению породного состава и типологической структуры насаждений лесного фонда республики в соответствии с почвенно-гидрологическими, климатическими и другими условиями произрастания деревьев.

Литература

1. Гельтман В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1982. 26 с.
2. Гельтман В. С. Категории ассоциаций типов леса // Фитоценотические исследования в Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1971. С. 77–89.
3. Рысин Л. П. Лесная типология в СССР. М.: Наука, 1982. 216 с.
4. Юркевич И. Д., Гельтман В. С. Соотношение понятий лесная ассоциация и тип леса (в связи с исследованием типов леса) // Ботанический журнал. 1970. Т. 55, № 1. С. 34–41.
5. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.
6. Сарнацкий В. В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхналогія, 2009. 334 с.
7. Федоров Н. И., Сарнацкий В. В. Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим массовым усыханием. Минск: Тэхналогія, 2001. 180 с.
8. Изучить причины усыхания ели в лесах Беларуси и разработать комплекс научно обоснованных мероприятий по снижению потерь деловой древесины и повышению устойчивости ельников: отчет о НИР (заключ.) / Белорусский государственный технологический университет: рук. Н. И. Федоров. Минск. 1998. 281 с. № ГР 1995999.
9. Лесоводственно-экологические основы стратегии хозяйствования в нарушенных ельниках: отчет о НИР (заключ.) / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси: рук. В. В. Сарнацкий. Минск, 2016. 100 с. № ГР 20142605.
10. Особенности функционирования лесных древостоев в условиях периодического экстремального проявления экологических факторов: отчет о НИР (заключ.) / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси: рук. В. В. Сарнацкий. Минск, 2005. 147 с. № ГР 20031986.
11. Разработать комплекс мероприятий по преодолению, минимизации последствий и профилактике массового усыхания деревьев в хвойных и черноольховых насаждениях: отчет о НИР (заключ.) / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси: рук. В. В. Сарнацкий. Минск, 2009. 292 с. № ГР 20064899.
12. Федоров Н. И. Основные факторы региональных массовых усыханий ели в лесах Восточной Европы // Грибные сообщества лесных экосистем / под ред. В. Г. Стороженко, В. И. Крутова, Н. Н. Селочник. М.: Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. С. 252–291.
13. Штукин С. С. Леса для качества жизни // Лесное и охотничье хоз-во. 2007. № 11. С. 10–14.
14. Рожков Л. Н., Ерощкина И. Ф. Воспроизводство коренного лесообразователя в процессе несплошной рубки // Труды БГТУ. 2016. № 1 (183): Лесное хоз-во. С. 61–64.
15. Schmidt Vogt H. Die Fichte. Bd. 2/2. Krankheiten. Schaden. Fichtensterben. Hamburg: Berlin. 1989. 607 s.

References

1. Gel'tman V. S. *Geograficheskiy i tipologicheskiy analiz lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geographical and typological analysis of forest vegetation in Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 326 p.
2. Gel'tman V. S. *Kategorii assotsiatsiy tipov lesa. Fitotsenoticheskiye issledovaniya v Belorussii* [Categories of forest types associations. Phytocenotic studies in Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1971, pp. 77–89.
3. Rysin L. P. *Lesnaya tipologiya v SSSR* [Forest typology in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 216 p.
4. Yurkevich I. D., Gel'tman V. S. The correlation of the concepts of forest association and the type of forest (in connection with the study of forest types). *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1970, vol. 55, no. 1, pp. 34–41 (In Russian).
5. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types in forest management operations]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p.
6. Sarnatskiy V. V. *El'niki: formirovaniye, povysheniye produktivnosti i ustoychivosti v usloviyakh Belarusi* [Spruce forests: development, raising of productivity and stability in Belarus]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2009. 334 p.
7. Fedorov N. I., Sarnatskiy V. V. *Osobennosti formirovaniya elovykh lesov Belarusi v svyazi s ikh periodicheskim massovym usykhaniem* [The features of forming spruce forests in Belarus in the context of their]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2001. 180 p.
8. Fedorov N. I. *Izuchit' prichiny usykhaniya eli v lesakh Belarusi i razrabotat' kompleks nauchno obosnovannykh meropriyatiy po snizheniyu poter' delovoy drevesiny i povysheniyu ustoychivosti el'nikov* [To study the causes of shrinking spruce in the forests of Belarus and to develop a set of scientifically substantiated measures to reduce losses of commercial timber and increase the stability of spruce forests]. Minsk, 1998. 281 p. No. 1995999 (In Russian).
9. Sarnatskiy V. V. *Lesovodstvenno-ekologicheskiye osnovy strategii khozyaystvovaniya v narushennykh el'nikakh* [Forest-ecological fundamentals of the management strategy in disturbed spruce forests]. Minsk, 2016. 100 p. No. 20142605 (In Russian).
10. Sarnatskiy V. V. *Osobennosti funktsionirovaniya lesnykh drevostoev v usloviyakh periodicheskogo ekstremal'nogo proyavleniya ekologicheskikh faktorov* [Features of the functioning of forest stands under conditions of periodic extremal manifestation of environmental factors]. Minsk, 2005. 147 p. No. 20031986 (In Russian).
11. Sarnatskiy V. V. *Razrabotat' kompleks meropriyatiy po preodoleniyu, minimizatsii posledstviy i profilaktike massovogo usykhaniya derev'yev v khvoynykh i chernool'khovykh nasazhdeniyakh* [To develop a set of measures for overcoming, minimizing the consequences and preventing the mass drying of trees in coniferous and black alder plantations]. Minsk, 2009. 292 p. No. 20064899 (In Russian).
12. Fedorov N. I. The main factors of regional mass firings of spruce in the forests of Eastern Europe. *Gribnyye soobshchestva lesnykh ekosistem* [Fungal Communities of Forest Ecosystems] Moscow; Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2000, pp. 252–291 (In Russian).
13. Shtukin S. S. Forests for quality of life. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2007, no. 11, pp. 10–14 (In Russian).
14. Rozhkov L. N., Yeroshkina I. F. Reproduction of native forest species in the process of non-continuous felling. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1: Forestry, pp. 61–64 (In Russian).
15. Schmidt Vogt H. Die Fichte. Bd. 2/2. *Krankheiten. Schaden. Fichtensterben*. Hamburg, Berlin. 1989. 607 s.

Информация об авторе

Сарнацкий Владимир Валентинович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории продуктивности и устойчивости растительных сообществ. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: sarnatsky1@tut.by

Information about the author

Sarnatskiy Vladimir Valentinovich – DSc (Biology), Chief Researcher of the Laboratory of the Productivity and Stability of Plant Communities. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus), E-mail: sarnatsky1@tut.by

Поступила 14.04.2018

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

УДК 630*228.7

А. А. Беспалый¹, И. В. Соколовский²

¹Национальный парк «Припятский»

²Белорусский государственный технологический университет

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ ГРУППЫ ПОЧВ ПОЙМЕННЫХ ДУБРАВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Приведено описание строения, состава и свойств аллювиальных дерново-карбонатных выщелоченных и оподзоленных, аллювиальных дерновых и дерновых оподзоленных слабogleеватых (временно избыточно увлажняемых) и глееватых песчаных, супесчаных и суглинистых почв пойменных дубрав Белорусского Полесья. Почвы объединены в три лесорастительные группы почв пойменных дубрав (ЛГППД) на основе их свойств, продуктивности дубрав и формирующегося типа леса. Лесорастительные группы почв (ЛГППД) рекомендуется использовать при решении задач в области проектирования лесохозяйственных и лесокультурных работ с целью рационального использования плодородия пойменных лесных почв, создания или формирования насаждений дуба черешчатого определенного состава. Отмечается, что пойменные дубравы произрастают преимущественно по II–III классам бонитета в зависимости от почвообразовательного процесса, гранулометрического состава аллювиальной почвообразующей породы, свойств почв. Пойменные почвы характеризуются большим разнообразием по содержанию гумуса, иногда в почвенном профиле выделяется погребенный гумусовый горизонт.

Ключевые слова: пойма, почва, аллювиальные дерновые, аллювиальные дерново-карбонатные, аллювиальные дерновые оподзоленные, песок, супесь, суглинок, аллювий, пойменные дубравы, дуб черешчатый, состав, возраст, бонитет, лесорастительные группы почв.

A. A. Bepalyy¹, I. V. Sokolovskiy²

¹National Park “Pripyatsky”

²Belarusian State Technological University

FOREST SOIL GROUPS OF FLOODPLAIN OAK FORESTS BELARUSIAN POLESIE

A description is given of the structure, composition and properties of alluvial sod-carbonate leached and podzolized, alluvial sod and sod podzolized slightly gleyey (temporarily excessively moisturized) and gleyey sandy, sandy loamy and loamy soils of floodplain oak forests of the Belarusian Polesie. Soils are grouped into three forest soil groups of floodplain oak forests (FSGFOF), on the basis of their properties, the productivity of oak forests and the forming forest type. Forest soil groups (FSGFOF) are recommended to be used when solving problems in the design of forestry and silvicultural works for the purpose of rational use of the fertility of floodplain forest soils, the creation or formation of oak trees with a slightly curved composition. It is noted that floodplain oak forests grow mainly in class II–III productivity, depending on the soil-forming process, the granulometric composition of the alluvial soil-forming rock, and the properties of soils. Floodplain soils are characterized by a wide variety in humus content, sometimes a buried humus horizon is distinguished in the soil profile.

Key words: floodplain, soil, alluvial sod, alluvial sod-carbonate, alluvial sod podzolized, sand, sandy loam, loam, alluvium, floodplain oak forests, oak, composition, age, productivity, forest soil groups.

Введение. В Беларуси пойменные почвы и произрастающие на них насаждения дуба черешчатого получили наибольшее распространение на Белорусском Полесье, которое характеризуется ровным пониженным рельефом и протеканием р. Припять с ее притоками [1–6]. Равнинный рельеф определяет низкую скорость движения воды в руслах рек и тем более в пой-

ме, что способствует оседанию приносимого материала с водосборной площади и формированию аллювиальных отложений на большой площади.

Почвообразование в пойме протекает под постоянным влиянием поступающих вод, которые приносят разнообразный материал с водосборной площади, где почвообразующие поро-

ды представлены водно-ледниковыми, моренными, лессовидными, органогенными почвообразующими породами. Это обусловлено тем, что притоки Припяти берут свое начало в различных географических широтах на территории Республики Беларусь и Украины. Почвы в пойме Припяти формируются на суглинистых, супесчаных и песчаных отложениях, что отмечается многими исследователями [7–9].

Основная часть. В результате изучения пойменных дубрав на территории Лунинецкого, Лельчицкого, Столинского, Петриковского, Мозырского лесхозов и ГПУ НП «Припятский» установлено, что они произрастают на слегка повышенных участках поймы, почвы по увлажнению характеризуются как слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые и формируются преимущественно под влиянием дернового процесса почвообразования.

Грубейшей ошибкой следует считать заключение авторов нормативного документа [10], что пойменные дубравы произрастают на глеевых почвах по увлажнению. На глеевых по увлажнению аллювиальных почвах могут лишь встречаться единичные деревья дуба черешчатого по микроповышениям, где водный режим характерен для глееватой почвы. Данные выводы подтверждаются крупномасштабными почвенными исследованиями лесных почв Беларуси, к примеру, на территории НП «Припятский» [11].

Подзолообразовательный процесс в пойме проявляется слабо и преимущественно на легких по гранулометрическому составу почвах.

В пойме р. Припять и ее притоков дубравы произрастают на следующих аллювиальных почвах:

– дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные слабоглееватые и глееватые, мало-, средне- и сильногумусные супесчаные и суглинистые, иногда с погребенным гумусовым

горизонтом или наличием меловых прослоек;

– дерновые слабоглееватые и глееватые, мало-, средне- и сильногумусные супесчаные и суглинистые, иногда с погребенным гумусовым горизонтом;

– дерновые оподзоленные слабоглееватые и глееватые, мало-, средне- и сильногумусные песчаные, супесчаные и суглинистые.

Указанные почвы в отличие от почв суходольных дубрав Белорусского Полесья [12–14] характеризуются более сложным строением почвенного профиля: наличие погребенных гумусовых горизонтов, генетические горизонты характеризуются разным гранулометрическим составом, агрохимическими свойствами. В пределах указанных почв пойменных дубрав выделяется более 20 почвенных разновидностей.

На основании анализа состава и лесорастительных свойств почв пойменных дубрав естественного и искусственного происхождения составлены 3 лесорастительные группы почв пойменных дубрав (ЛГППД):

1) аллювиальные дерново-карбонатные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые;

2) аллювиальные дерновые и дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые;

3) аллювиальные дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые песчаные.

Аллювиальные почвы в пределах указанных групп (табл. 1) характеризуются общей закономерностью в строении почвенного профиля, близким естественным плодородием. Почвы пойменных дубрав характеризуются хорошо развитым почвенным профилем, четкой дифференциацией его по генетическим горизонтам.

Таблица 1

Строение почвенного профиля почв пойменных дубрав по лесорастительным группам почв пойменных дубрав

Аллювиальные дерново-карбонатные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые		Аллювиальные дерновые и дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые		Аллювиальные дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые песчаные
выщелоченные	оподзоленные	типичные	оподзоленные	
A _d (A ₀) A ₁ B _{1g} Ca B _{2g} Ca G _{Ca} ; (D _g);	A _d (A ₀) A ₁ A ₁ A ₂ ; (A ₂ B ₁) B _{1g} B _{2g} G _{Ca} ; (D _g);	A _d (A ₀) A ₁ B _{1g} B _{2g} G; (D _g)	A _d (A ₀) A ₁ (A ₁ A ₂) A ₂ B ₁ ; (B _{1g}) B _{2g} G; (D _g)	A _d (A ₀) A ₁ A ₂ B _{1g} (A ₂ B ₁) B _{2g} G; (D _g)

Профиль пойменных почв начинается с выделением дернины или лесной подстилки, которые интенсивно пронизаны корнями растений. Гумусовый горизонт характеризуется мощностью от 20 до 40 см. Погребенный гумусовый горизонт встречается чаще на глубине до 1 м и характеризуется серым цветом с осветленными пятнами в виде признаков оглеения, протяженность от 10 до 40 см с содержанием 1–3% гумуса.

В аллювиальных дерново-карбонатных почвах карбонаты с верхних горизонтов вымыты и их содержание отмечается с глубины 30–150 см, что дает основание отнести их к подтипу выщелоченных или оподзоленных.

В аллювиальных дерновых оподзоленных почвах выделяется гумусово-подзолистый или подзолисто-иллювиальный горизонт, в котором проявляются лишь признаки подзолообразования в виде сизоватых пятен.

В почвах пойменных дубрав почвенный профиль с глубины 50–80 см характеризуется наличием признаков избыточного увлажнения в виде белесоватых, ржаво-охристых пятен или прослоек. С глубины 1,5 м в слабogleеватых (временно избыточно увлажняемых) почвах проявляется сплошное оглеение, а в глееватых с 0,7–1,0 м. Незирая на наличие глеевых горизонтов в нижней части почвенного профиля, в засушливые годы в августе и сентябре уровень грунтовых вод часто опускается глубже 2 м.

В почвенном профиле почв дубрав встречается часто подстилающий горизонт (D), представленный суглинком или глиной, избыточно насыщенный влагой.

Анализируя гранулометрический состав, следует отметить уменьшение процентного содержания песчаных фракций в составе почвообра-

зующей аллювиальной породы от прирусловой части поймы к центральной и притеррасной. Основу аллювия составляют мелкий песок, крупная пыль и частицы физической глины (средняя и мелкая пыль, тонкий и грубый ил, коллоиды). Песчаные аллювиальные отложения представлены преимущественно фракцией мелкого песка, иногда она составляет 90% от всей массы почвы (табл. 2).

Исходя из строения почв, гранулометрического состава, а также поемного процесса в почвах отмечается большая динамика по увлажнению отдельных генетических горизонтов в почвенном профиле на протяжении года. Учитывая стояние пойменных вод на высоте 40–60 см в летний период уровень грунтовых вод на слабogleеватых (временно избыточно увлажняемых) почвах опускается глубже 2 м в августе, а на глееватых – на глубину 1,5–2,0 м, можно констатировать, что в почвах пойменных дубрав создаются особые условия по режиму увлажнения и его влияния на рост дуба черешчатого на протяжении года.

Свойства почв (табл. 3) по лесорастительным группам почв пойменных дубрав имеют существенное различие по их реакции среды. В выщелоченных и оподзоленных подтипах дерново-карбонатных почв в гумусовом горизонте актуальная кислотность варьирует в пределах pH 4,5–6,0, а в нижележащих иллювиальных достигает 7,0–7,4. В дерновых почвах в гумусовом горизонте pH 4,0–5,5, а с глубиной снижается до 5,0–6,5.

В дерновых оподзоленных почвах отмечается высокая кислотность в гумусовом горизонте (pH 3,5–4,0) и с глубиной снижается незначительно. Соответственно, вместе с актуальной кислотностью изменяется и потенциальная кислотность почв.

Таблица 2

Гранулометрический состав почв пойменных дубрав и варьирование в пределах фракций по генетическим горизонтам

Наименование лесорастительных групп почв пойменных дубрав (ЛГППД)	Горизонт	Фракции (мм) и варьирование их содержания (%)				
		1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	<0,01
Аллювиальные дерново-карбонатные слабogleеватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые	A ₁	1–5	1–10	20–70	10–50	11–50
	B	1–5	1–20	20–70	10–50	5–20
	G; (D _g)	0–3	1–10	20–40	10–50	10–50
Аллювиальные дерновые и дерновые оподзоленные слабogleеватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые	A ₁ (A ₁ A ₂)	1–5	1–30	20–70	5–50	11–50
	B	1–10	1–40	20–70	5–50	5–20
	G; (D _g)	0–3	1–10	20–40	15–50	10–50
Аллювиальные дерновые оподзоленные слабogleеватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые песчаные	A ₁ (A ₁ A ₂)	1–20	1–40	50–90	1–10	5–10
	B	1–20	1–60	40–90	1–10	1–10
	G; (D _g)	0–3	1–10	20–50	10–50	5–50

Таблица 3

**Варьирование агрохимических свойств почв пойменных дубрав в пределах ЛГППД
(гумусовый и иллювиальные горизонты)**

Наименование лесорастительных групп почв пойменных дубрав (ЛГППД)	Горизонт	рН в КСl	Гумус, %	Гидролитическая кислотность	Ca+Mg	Насыщенность основаниями, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
				мг-экв. на 100 г почвы			мг на 100 г почвы	
1. Аллювиальные дерново-карбонатные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые	A ₁	4,5–6,0	2,0–7,0	2–20	10–80	50–90	0,5–2,0	2–10
	B	4,5–7,4	0,1–0,8	1–7	10–30	60–100	0,1–3,0	2–10
2. Аллювиальные дерновые и дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые	A ₁ (A ₁ A ₂)	3,5–5,5	3,0–9,0	5–20	5–20	30–70	0,5–2,0	2–10
	B	4,5–6,5	0,1–0,9	1–10	5–30	40–90	0,1–3,0	2–15
3. Аллювиальные дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые песчаные	A ₁ (A ₁ A ₂)	3,5–4,0	3,0–6,0	5–15	3–10	30–40	0,5–2,0	2–5
	B	4,0–5,0	0,1–0,8	1–5	2–10	40–70	0,1–2,0	1–15

Степень насыщенности гумусового горизонта основаниями в дерновых карбонатных почвах варьирует от 50 до 90%, в дерновых и дерновых оподзоленных супесчаных и суглинистых почвах – 30–70%. Гумусовый горизонт дерновых оподзоленных песчаных почв насыщен основаниями на 30–40%.

Содержание гумуса в пойменных почвах дубрав варьирует в большом диапазоне, что, по-видимому, связано с реакцией среды, деятельностью почвенной микрофлоры, видовым составом и обилием живого напочвенного покрова. В пределах лесорастительных групп почв пойменных дубрав выделяются мало-, средне-, сильногумусные почвенные разновидности. Гумусированность почв влияет на живой напочвенный покров: с увеличением его содержания в живом напочвенном покрове появляются более требовательные к почвенному плодородию растения.

Почвы пойменных дубрав характеризуются очень низкой обеспеченностью подвижным фосфором, что отмечается многими исследователями не только на территории Республики Беларусь, но и в других регионах [4, 7, 15]. Обеспеченность обменным калием несколько выше. Низкая обеспеченность доступных для растений форм калия и фосфора объясняется высоким биологическим круговоротом веществ при протекании дернового процесса почвообразования, а также оптимальной обеспеченностью влагой верхних генетических горизонтов в период вегетации на слабоглееватых и глееватых пойменных почвах.

Анализируя продуктивность искусственных насаждений дуба черешчатого в возрасте от 20 до 70 лет (табл. 4), следует отметить, что пойменные дубравы произрастают преимущественно по II–III классам бонитета.

На аллювиальных дерново-карбонатных выщелоченных легко- и среднесуглинистых слабоглееватых (временно избыточно увлажняемые) и глееватых почвах иногда искусственные дубравы произрастают по I классу бонитета. В указанных почвах гумусовый горизонт имеет протяженность не менее 30 см, а содержание гумуса варьирует от 5 до 9%.

При наличии в почвенном профиле данных почв песчаных иллювиальных горизонтов продуктивность пойменных дубрав снижается и изменяется их породный состав. На аллювиальных дерново-карбонатных выщелоченных и оподзоленных слабоглееватых и глееватых супесчаных почвах дубравы произрастают по II классу бонитета. Полнота насаждений варьирует от 0,5 до 0,9, на что влияют почвенные условия, развитие травянистой растительности и микрорельеф. В мелких западинах произрастает преимущественно кустарниковая растительность. На аллювиальных дерново-карбонатных почвах дуб занимает в составе от 20 до 70%, что определяется количеством и качеством уходов в данных насаждениях. В качестве сопутствующих пород здесь произрастают береза, осина, граб, ясень, клен, ольха черная, липа, вяз, при этом доля участия первых четырех пород в насаждениях дуба иногда достигает 50%.

Таблица 4

Характеристика искусственных насаждений пойменных дубрав различного возраста по лесорастительным группам почв пойменных дубрав (ЛГППД)

Лесорастительные группы почв пойменных дубрав	Бонитет	Возраст, лет	Полнота	Дуб в составе насаждения, %	Сопутствующие породы в насаждении	Пойменные типы леса
1. Аллювиальные дерново-карбонатные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые	II (I)	30–40 41–50 51–60 65	0,6–0,9 0,6–0,8 0,6–0,8 0,5–0,8	30–50 30–60 20–70 20–70	Береза Осина Граб Ясень Клен Ольха ч. Липа Вяз	Ясенево-пойменный, разнотравно-пойменный, крапивно-пойменный
2. Аллювиальные дерновые и дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые супесчаные и суглинистые	II (III)	30–40 41–50 51–60 61–70	0,5–0,8 0,4–0,9 0,4–0,8 0,4–0,8	30–100 20–60 30–100 30–100	Береза Осина Граб Клен Ольха ч. Ясень Сосна	Широкотравно-пойменный, злаково-пойменный, прируслово-пойменный, луговиковый
3. Аллювиальные дерновые оподзоленные слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые) и глееватые песчаные	IV (III)	41–50 51–65	0,4–0,7 0,4–0,7	30–60 30–60	Сосна Береза Ольха ч.	Прируслово-пойменный

На аллювиальных дерновых и дерновых оподзоленных слабоглееватых (временно избыточно увлажняемых) и глееватых суглинистых почвах искусственные дубравы произрастают преимущественно по II классу бонитета, а на супесчаных – по III классу бонитета. Полнота варьирует от 0,4 до 0,9, а доля дуба в насаждении составляет от 20 до 100%. В качестве сопутствующих пород произрастают береза, осина, граб, клен, ольха черная, ясень, сосна.

На аллювиальных дерновых оподзоленных слабоглееватых (временно избыточно увлажняемых) и глееватых песчаных почвах дубравы произрастают по IV, реже – III классам бонитета в зависимости от гранулометрического состава песка, строения почвенного профиля (на-

личия супесчаных, суглинистых, глинистых или меловых прослоек, погребенного гумусового горизонта). В составе насаждения встречаются также сосна и береза.

Заклучение. Пойменные дубравы в условиях Белорусского Полесья произрастают на аллювиальных дерново-карбонатных, аллювиальных дерновых и дерновых оподзоленных слабоглееватых и глееватых почвах различного гранулометрического состава.

По лесорастительному эффекту и плодородию почвы объединены в три лесорастительные группы почв пойменных дубрав (ЛГППД), что позволяет предлагать мероприятия по ведению лесохозяйственной деятельности на них и формировать указанные типы леса.

Литература

1. Юркевич И. Д., Ловчий Н. Ф., Гельтман В. С. Леса Белорусского Полесья (геоботанические исследования). Минск: Наука и техника, 1977. 288 с.
2. Гримашевич В. В., Моховик И. В., Левенкова О. В. Пойменные дубравы Республики Беларусь и их состояние // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2007. Вып. 67. С. 37–49.
3. Гельтман В. С., Моисеенко И. Ф. Пойменные леса Припяти и их трансформация в связи с мелиорацией. Минск: Наука и техника, 1990. 118 с.
4. Бойко А. В., Лозухно И. В. Биологические особенности лесных фитоценозов Припятского заповедника. Минск: Наука и техника, 1982. 134 с.
5. Водные ресурсы Национального парка «Припятский», их влияние на состояние лесных экосистем: монография / А. В. Углянец [и др.]; под общ. ред. Г. И. Марцинкевич. Минск: БГПУ, 2007. 163 с.

6. Солонович И. А. Пойменные дубравы Припятского заповедника // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. Ин-та эксперимент. ботаники АН БССР. Минск, 1975. Вып. 17. С.40–47.
7. Роговой П. П., Янович И. П. Поймы рек Днепра, Сожа и Припяти и их хозяйственное использование. Минск: Белгосиздат, 1957. 238 с.
8. Санько П. М. Естественные луга Беларуси, их характеристика и оценка. Минск: Наука и техника, 1983. 247 с.
9. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н. И. Смяна. Минск: Ураджай, 1974. 328 с.
10. Рекомендации по ведению лесного хозяйства в пойменных дубравах Беларуси. Введ. 2011.05.01. Минск, 2011. 16 с.
11. Почвенно-лесотипологический очерк по Снядинскому лесничеству Припятского государственного ландшафтно-гидрологического заповедника. Минск, 1973. 144 с.
12. Соколовский И. В., Беспалый А. А. Дерново-подзолистые грунтово-слабоглеватые и грунтово-глеватые лесные почвы Белорусского Полесья // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 186–190.
13. Герасименко М. В., Соколовский И. В. Почвообразующие породы и свойства почв суходольных дубрав Белорусского Полесья // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2008. Вып. 68. С. 365–369.
14. Соколовский И. В., Беспалый А. А. Дерново-карбонатные полугидроморфные лесные почвы Белорусского Полесья // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2012. Вып. 72. С. 408–412.
15. Моторин А. С., Букин А. В. Состав и свойства аллювиальных почв поймы реки Тобол Северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2002. № 6. С. 71–75.

References

1. Yurkevich I. D., Lovchiy N. F., Gel'tman V. S. *Lesy Belorusskogo Poles'ya (geobotanicheskiye issledovaniya)* [Forests of the Belarusian Polesie (geobotanical studies)]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1977. 288 p.
2. Grimashevich V. V., Mokhovik I. V., Levenkova O. V. Floodplain oak forests of the Republic of Belarus and their condition. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: coll. sci. works of the IL of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel', 2007, issue 67, pp. 37–49 (In Russian).
3. Gel'tman V. S., Moiseenko I. F. *Poymennyye lesa Pripyati i ikh transformatsiya v svyazi s melioratsiyey* [Floodplain forests of the Pripyat river and its transformation in connection with the reclamation]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1990. 118 p.
4. Boyko A. V., Lozukhno I. V. *Biologicheskiye osobennosti lesnykh fitotsenozov Pripyatskogo zapovednika* [Biological features of forest phytocenoses of the Pripyat Reserve]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 134 p.
5. Uglyanets A. V., Vlasov B. P., Khmelevskiy V. I. *Vodnyye resursy Natsional'nogo parka "Pripyatskiy", ikh vliyaniye na sostoyaniye lesnykh ekosistem* [Water resources of the National Park "Pripyat" and their impact on forest ecosystems]. Minsk, BGPU Publ., 2007. 163 p.
6. Solonovich I. A. Floodplain oak forests of the Pripyat Reserve. *Botanika (issledovaniya): sbornik nauchnykh trudov Instituta experimental'noy botaniki Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Botany of NAS of Belarus], Minsk, 1975, issue 17, pp. 40–47 (In Russian).
7. Rogovoy P. P., Yanovich I. P. *Poymy rek Dnepra, Sozha i Pripyati i ikh khozyaystvennoye ispol'zovaniye* [The floodplains of the Dnieper, Sozh and Pripyat rivers and their economic use]. Minsk, Belgostat Publ., 1957. 238 p.
8. San'ko P. M. *Estestvennyye luga Belarusi, ikh kharakteristika i otsenka* [Natural meadows of Belarus, their characteristics and evaluation]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1983. 247 p.
9. Kulakovskaya T. N., Rogovoy P. P., Smeyan N. I. *Pochvy Belorusskoy SSR* [Soils of the Byelorussian SSR]. Minsk, Uradzhay Publ., 1974. 328 p.
10. *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva v poymennykh dubravakh Belarusi* [Recommendations on forest management in floodplain oak forests of Belarus]. Minsk, 2011. 16 p. (In Russian).
11. *Pochvenno-lesotipologicheskiy ocherk po Snyadinskomu lesnitsstvu Pripyatskogo gosudarstvennogo landshaftno-gidrologicheskogo zapovednika* [Soil isotopologues essay on Snyadinsky forestry the Pripyatsky State landscape-hydrological reserve]. Minsk, 1973. 144 p.
12. Sokolovskiy I. V., Bepalyy A. A. Sod-podzolic soil-slightly gleyey and soil-gleyed forest soils of Belorussian Polesie. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 186–190 (In Russian).

13. Gerasimenko M. V., Sokolovskiy I. V. Soil-forming rocks and soil properties of the dry-bottomed oak groves of the Belorussian Polesie. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornic nauchnykh trudov Instituta lesa Nacional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: coll. sci. works of the IL of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel', 2008, issue 68, pp. 365–369 (In Russian).

14. Sokolovskiy I. V., Bespalyy A. A. Sod-carbonate semihydromorphic forest soils of the Belorussian Polesie. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornic nauchnykh trudov Instituta lesa Nacional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: coll. sci. works of the IL of the National Academy of Sciences of Belarus], Gomel', 2012, issue 72, pp. 408–412 (In Russian).

15. Motorin A. S., Bukin A. V. Composition and properties of alluvial soils in the floodplain of the Tobol River of the Northern Trans-Urals. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agricultural Bulletin of the Urals], 2002, issue 6, pp. 71–75 (In Russian).

Информация об авторах

Беспалый Андрей Александрович – начальник научного отдела. Национальный парк «Припятский» (247946, Гомельская обл., Петриковский р-н, аг. Лясковичи, Республика Беларусь). E-mail: andrei_bespalyi@mail.ru

Соколовский Иван Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sivsoc@mail.ru

Information about the authors

Bespalyu Andrey Aleksandrovich – Head of the scientific department. National Park “Pripyatsky” (Lyaskovichi, Petrikov district, Gomel region, 247946, Republic of Belarus). E-mail: andrei_bespalyi@mail.ru

Sokolovskiy Ivan Vasil'yevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor of, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sivsoc@mail.ru

Поступила 12.02.2018

УДК 630*232.4

А. М. Граник, Н. К. Крук

Белорусский государственный технологический университет

**РОСТ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ ПОСАДКИ
И ВИДА ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА**

Приведены результаты исследований приживаемости и роста лесных культур сосны обыкновенной, созданных в разное время вегетационного периода посадочным материалом с закрытой корневой системой. Посадка производилась сеянцами однолетнего возраста с апреля по октябрь с периодичностью один раз в месяц на участке бывшего сельхозпользования. Выполнены исследования роста лесных культур сосны обыкновенной, созданных различным посадочным материалом: сеянцами однолетнего возраста с закрытой корневой системой, сеянцами однолетнего возраста с открытой корневой системой, сеянцами двухлетнего возраста с открытой корневой системой. Лучших биометрических показателей достигли молодые растения, высаженные на лесокультурную площадь в весенние месяцы. Наблюдается тенденция снижения средней высоты и прироста от весенних посадок к осенним. Диаметр корневой шейки имеет максимальное значение у весенних посадок. Этот показатель снижается у июньских и июльских посадок, повышается у августовских, а далее, у сентябрьских и октябрьских, снижается. Соотношение надземной и подземной частей растений наиболее оптимально при весенних и октябрьских посадках. Лесные культуры сосны обыкновенной, созданные посадочным материалом с закрытой корневой системой, обладают наиболее оптимальными характеристиками по росту и развитию в сравнении с сеянцами однолетнего и двухлетнего возраста с открытой корневой системой.

Ключевые слова: лесные культуры, приживаемость, рост, посадочный материал, закрытая корневая система, биометрические показатели.

A. M. Granik, N. K. Kruk

Belarusian State Technological University

**GROWTH OF FOREST CROPS OF SCOTS PINE, DEPENDING
ON THE TIME OF PLANTING AND THE TYPE OF PLANTING MATERIAL**

The results of studies on the survival and growth of forest crops of pine with a planting stock with a closed root system created at different periods of the vegetative period are presented. Planting was carried out by seedlings of one-year age from April to October, with a frequency of once a month on the site of the former agricultural use. Research has been carried out on the growth of forest crops of Scots pine created by different planting materials: one-year-old seedlings with a closed root system, one-year-old seedlings with a bare root system, two-year-old seedlings with a bare root system. The best biometric indicators were reached by young plants planted on the forest-cultivated area in the spring months. There is a tendency to reduce the average height and growth from spring plantings to autumn ones. The diameter of the root neck is the maximum value for spring plantings. This indicator declines in June and July plantings, increases in August, and then in September and October decreases. The ratio of aboveground and underground parts of plants is most optimal for spring and October plantings. Forest crops of Scotch pine, created by planting material with a closed root system, have the most optimal characteristics for growth and development in comparison with seedlings of annual and biennial age with a bare root system.

Key words: forest crops, survival, growth, planting material, closed root system, biometric indicators.

Введение. Использование сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) при лесовосстановлении является перспективным направлением, о чем свидетельствует большой интерес к нему как исследователей, так и производителей [1]. Создание лесных культур данным посадочным материалом имеет ряд преимуществ [2–7]:

- сокращение сроков выращивания посадочного материала (1 год);
- эффективное использование дорогостоящих семян и меньший расход посадочного материала на единицу культивируемой площади;

- высокая приживаемость лесных культур (около 95%);

- значительное увеличение продолжительности лесопосадочных работ, а следовательно, и отсутствие необходимости временного привлечения большого количества людей для выполнения посадок.

Кроме того, в процессе дальнейшего выращивания лесных культур применение контейнерного метода позволяет [6]:

- а) сокращать сроки перевода лесных культур в покрытую лесом площадь;

б) снижать затраты на дополнение лесных культур из-за высокой приживаемости;

в) иметь большую возможность для контроля среды во время выращивания.

Эффективность восстановления леса посадочным материалом с ЗКС объясняется меньшей трудозатратностью посадки и дальнейшего ухода за лесными культурами по сравнению с посадкой семян с открытой корневой системой. В исследованиях Р. Ю. Селименкова и А. В. Миронова отмечается, что среди семян с открытой корневой системой всего 75% достигают 20-летнего возраста, в то время как у семян с ЗКС это количество составляет 94% [8].

Результаты исследований многих ученых показывают, что темпы роста культур, созданных посадочным материалом с ЗКС, значительно выше по сравнению с традиционными методами выращивания при одновременном снижении густоты посадки [8–12].

В то же время следует отметить высокую стоимость создания культур данным посадочным материалом по сравнению с сеянцами с открытой корневой системой (создание 1 га культур сеянцами с ЗКС в 1,9 раза дороже) [13]. В литературных источниках указывается, что при создании лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой высаженные растения в меньшей степени испытывают послепосадочную депрессию и адаптация их является успешной [10, 14, 15]. Данные по адаптации сеянцев с закрытой корневой системой на лесокультурных площадях в условиях Беларуси практически отсутствуют.

Основная часть. С целью изучения приживаемости, роста и развития лесных культур, созданных в разные периоды времени, был заложен опытно-экспериментальный объект. Посадки производились с апреля по октябрь 2016 г. сеянцами сосны обыкновенной с закрытой корневой системой однолетнего возраста с периодичностью один раз в месяц на участке бывшего сельхозпользования. В ноябре 2017 г. был произведен учет приживаемости посаженных молодых растений (табл. 1).

Исходя из приведенных данных видно, что наименьшая приживаемость наблюдается при июльской посадке, наибольшей приживаемостью характеризуется августовская посадка, несколько ниже данный показатель у весенних и осенних посадок. Такое явление объясняется недостаточностью осадков в июне – июле и высокой температурой воздуха. Следует отметить, что приживаемость лесных культур, посаженных весной, по результатам наблюдений через два месяца достигала показателя 100%. Однако в конце лета часть растений погибла вследствие повреждения хвои листогрызущими насекомыми.

Были изучены также биометрические показатели лесных культур сосны обыкновенной, созданных сеянцами с закрытой корневой системой (табл. 2). Исходя из приведенных данных видно, что наибольших показателей достигают молодые растения, высаженные на лесокультурную площадь в весенние месяцы. Наблюдается тенденция снижения средней высоты и прироста от весенних посадок к осенним. Данный факт объясняется следующими причинами:

– ранее высаженные растения начинали раньше получать воду и элементы питания из почвы по сравнению с сеянцами, которые высаживались позже. У сеянцев поздней посадки замедлилось развитие корневой системы, что впоследствии сказалось на росте молодых растений;

– растения, высаженные в весенние месяцы, имели более благоприятные микроклиматические условия (влажность и температура) для приживаемости и адаптации на лесокультурной площади. В летние месяцы наблюдалось снижение содержания влаги в почве и повышение температуры выше +30°C, что увеличивало период адаптации сеянцев;

– растения осенних посадок начинали рост только весной следующего года, поскольку во время их посадки шел процесс перехода в состояние покоя в связи с окончанием вегетационного периода.

Таблица 1

Приживаемость сеянцев сосны в зависимости от сроков посадки

Месяц посадки	Количество высаженных растений, шт.	Количество растений в конце вегетационного сезона, шт.		Приживаемость, %
		живых	погибших	
Апрель	200	190	10	95
Май	200	184	16	92
Июнь	200	172	28	86
Июль	200	122	78	62
Август	200	195	5	98
Сентябрь	200	176	24	88
Октябрь	200	192	8	96

Таблица 2

Биометрические показатели растений в лесных культурах

Вариант	Средняя высота, см	Прирост, см	Диаметр корневой шейки, см	Соотношение массы надземной и подземной частей
Апрель	40,42 ± 1,35	26,46 ± 0,83	10,35	3,4 : 1,0
Май	36,95 ± 1,68	22,25 ± 1,80	11,62	3,3 : 1,0
Июнь	29,25 ± 1,36	14,85 ± 0,94	8,48	5,0 : 1,0
Июль	25,95 ± 0,96	12,58 ± 0,45	8,65	4,5 : 1,0
Август	23,11 ± 1,15	9,03 ± 0,55	9,30	3,9 : 1,0
Сентябрь	27,89 ± 0,92	9,05 ± 0,52	7,00	4,1 : 1,0
Октябрь	24,25 ± 0,87	5,89 ± 0,37	4,92	3,4 : 1,0

Диаметр корневой шейки достигает максимальных значений у весенних посадок. Этот показатель снижается у июньских и июльских посадок, повышается у августовских, а далее вновь снижается. Это объясняется тем, что в августе создаются более благоприятные температурные условия для роста молодых растений по сравнению с другими летними месяцами. В сентябре – октябре растения прекращают рост и постепенно переходят в состояние покоя.

Соотношение массы надземной и подземной частей растений более оптимально при весенних и октябрьских посадках.

Для сравнительного изучения роста и развития лесных культур сосны в зависимости от используемого посадочного материала нами был создан опытно-экспериментальный объект. На участке площадью 0,4 га были высажены сеянцы по трем вариантам:

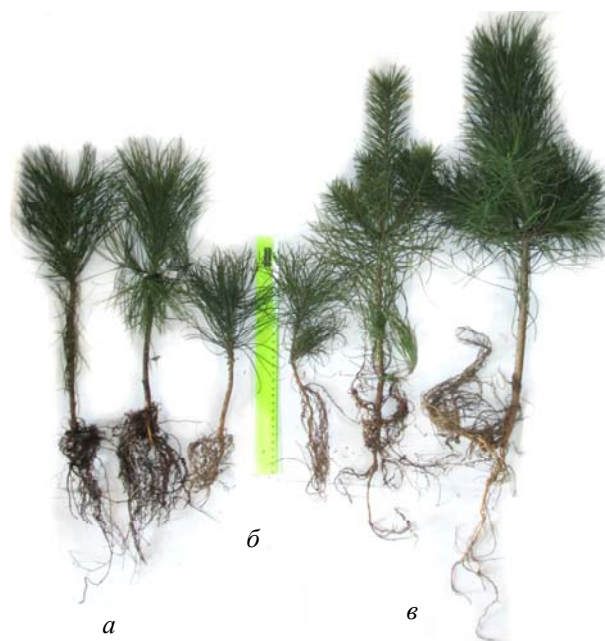
- 1) сеянцы с закрытой корневой системой (ЗКС);
- 2) сеянцы однолетки с открытой корневой системой (СН₁);
- 3) сеянцы двухлетки с открытой корневой системой (СН₂).

В конце вегетационного периода по вариантам опыта был произведен учет приживаемости лесных культур, измерены биометрические показатели молодых растений (высота, прирост, диаметр корневой шейки), осуществлена выборочная выкопка молодых растений для оценки развития надземной части и корневой системы, рассчитано соотношение надземной части и корней по массе (табл. 3).

Из таблицы видно, что лесные культуры, созданные двухлетками и посадочным материалом с закрытой корневой системой, имеют наибольшую приживаемость. Наибольшую высоту, прирост и диаметр у корневой шейки имеют культуры, созданные сеянцами двухлетнего возраста, однако необходимо отметить, что при посадке они были значительно крупнее

сеянцев однолеток и сеянцев с ЗКС. При этом молодые растения, посаженные сеянцами с ЗКС, незначительно уступают в размерах. Наиболее оптимальными соотношениями массы надземной части и корней характеризуются культуры, созданные однолетками с открытой корневой системой и ЗКС.

Наиболее развитую корневую систему имеют культуры, созданные посадочным материалом с закрытой корневой системой (рисунок).



Развитие молодых растений в однолетних культурах в зависимости от вариантов опыта:

- а* – сеянцы с ЗКС; *б* – сеянцы однолетки с открытой корневой системой;
в – сеянцы двухлетки с открытой корневой системой

Корневая система у сеянцев с ЗКС за один год вышла за пределы кома и увеличилась примерно в два раза.

Таблица 3

Приживаемость и биометрические показатели лесных культур сосны обыкновенной, созданных различным видом посадочного материала

Вариант	Приживаемость, %	Средняя высота, см	Прирост, см	Диаметр корневой шейки, мм	Соотношение масс надземной части и корней
ЗКС	87	24,71 ± 0,65	13,06 ± 0,46	6,13	3,4 : 1,0
СН ₁	80	10,37 ± 0,37	6,13 ± 0,27	4,68	4,7 : 1,0
СН ₂	86	34,59 ± 1,37	20,00 ± 0,80	7,68	3,1 : 1,0

Заключение. На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- создание лесных культур сосны обыкновенной посадочным материалом с закрытой корневой системой лучше всего производить в апреле – мае и августе – октябре;

- не рекомендуется осуществлять посадку лесных культур в июне – июле, поскольку даже при достаточном увлажнении испарение влаги из почвы будет довольно интенсивным, что может привести к гибели молодых растений;

- посадки с августа по октябрь следует проводить посадочным материалом, выращенным в этот же год. Посадка осенью следующего года будет равнозначна посадке двухлетними сеянцами с закрытой корневой системой. Это

приведет к снижению роста и развития молодых растений из-за того, что рост корневой системы будет ограничиваться размером контейнера, а также к дополнительным затратам по выращиванию посадочного материала;

- при посадке лесных культур в весенние месяцы следует проводить рекогносцировочный надзор за листогрызущими вредителями и при необходимости выполнять обработки инсектицидами.

Лесные культуры сосны обыкновенной, созданные посадочным материалом с закрытой корневой системой, обладают наиболее оптимальными характеристиками по росту и развитию в сравнении с сеянцами однолетнего и двухлетнего возраста с открытой корневой системой.

Литература

1. Чернобровкина Н. П., Чернышенко О. В., Егорова А. В., Зайцева М. И., Робонен Е. В. Современные технологии выращивания посадочного материала хвойных пород и пути их совершенствования // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 6. С. 6–14
2. Матюхина З. Ф., Жигунов А. В., Шестакова Т. А. Лесокультурная оценка разных видов посадочного материала сосны и ели // Посадочный материал для создания плантационных культур: сб. науч. тр. ЛенНИИЛХ. Л., 1986. С. 3–10.
3. Мочалов Б. А. Использование разных видов посадочного материала для лесовосстановления в зоне тайги европейской части России // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере: сб. науч. тр. СевНИИЛХ. Архангельск, 2005. С. 123–136.
4. Мочалов Б. А., Бобушкина С. В. Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на Севере // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 5 (335). С. 65–70.
5. Публичный доклад о результатах деятельности Департамента лесного комплекса за 2013 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.forestvologda.ru/files/20_01_14_doklad.pdf (Дата доступа: 11.09.2016).
6. Смирнова О. Н. Оценка результатов сравнительного анализа создания лесных культур посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой в Краснобаковском лесхозе – техникуме Баковского лесничества Нижегородской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 17. С. 236–238.
7. Петухов И. Н. Лесоводственная эффективность создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой в условиях Костромской области // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2011. № 3. С. 33–35.
8. Селименков Р. Ю., Миронов А. В. Эффективность инновационных технологий в воспроизводстве лесов // Проблемы развития территории. 2011. Вып. 3. С. 51–58.
9. Юрьева А. Л. Особенности строения корневых систем лесных культур сосны как фактор экологической устойчивости // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2005. № 6. С. 82–86.

10. Жигунов А. В., Данилов Д. А., Шестакова Т. А., Неверовский В. Ю. Влияние вида посадочного материала на рост насаждений ели и сосны на постагrogenных землях северо-запада России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 3 (31). С. 30–39.

11. Заболотских П. В. Рост лесных культур сосны обыкновенной, созданных различным видом посадочного материала, в Республике Марий Эл // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5–4 (16–4). С. 247–250.

12. Степанов С.А., Зайцева М.И. Выращивание и использование посадочного материала с закрытой корневой системой. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. 32 с.

13. Корчагов С. А., Грибов С. Е., Обрядина О. Ю. Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 5 (359). С. 92–102.

14. Бартенев И. М., Аксенов А. А., Малюков С. В. Влияние вида посадочного материала на эффективность лесовосстановления на горельниках // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5–3 (10–3). С. 15–19.

15. Грибов С. Е. Лесоводственно-экономическая оценка лесных культур, созданных различным видом посадочного материала // Молочнохозяйственный вестник. 2015. № 1 (17). С. 14–22.

References

1. Chernobrovkina N. P., Chernyshenko O. V., Egorova A. V., Zaytseva M. I., Robonen E. V. Modern technologies of growing coniferous planting stock and ways to improve them. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State Forest University – Forestry Bulletin], 2016, vol. 20, no. 6, pp. 6–14 (In Russian).

2. Matyukhina Z. F., Zhigunov A. V., Shestakova T. A. Forestry assessment of different types of planting material for pine and spruce. *Posadochnyy material dlya sozdaniya plantatsionnykh kul'tur: sb. nauch. tr. LenNIILKh* [Planting material for the creation of plantation crops: a collection of scientific works of LenNIILH]. Leningrad, 1986, pp. 3–10 (In Russian).

3. Mochalov B. A. Use of different types of planting material for reforestation in the taiga zone of the European part of Russia. *Voprosy taezhnogo lesovodstva na Evropeyskom Severe: sb. nauch. tr. SevNIILKh* [Questions of taiga forestry in the European North: a collection of scientific papers SevNIILH]. Arkhangel'sk, 2005, pp. 123–136 (In Russian).

4. Mochalov B. A., Bobushkina S. V. Influence of the type of cassettes on the sizes of pine seedlings with closed roots and their growth in cultures in the North. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of the higher educational institutions. Forest magazine], 2013, no. 5 (335), pp. 65–70 (In Russian).

5. *Publichnyy doklad o rezul'tatakh deyatelnosti Departamenta lesnogo kompleksa za 2013 god* [Public report on the results of the activities of the Forestry Department for 2013]. Available at: http://www.forestvologda.ru/files/20_01_14_doklad.pdf (accessed 11.09.2016).

6. Smirnova O. N. Evaluation of the results of a comparative analysis of the creation of forest crops by planting stock with a closed and open root system in the Krasnobakovsky forestry-technical school of the Bakovsky forestry of the Nizhny Novgorod region. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex], 2007, no. 17, pp. 236–238 (In Russian).

7. Petukhov I. N. Silvicultural plantations efficiency of producing seedlings with closed root system in the conditions of the Kostroma region. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State Forest University – Forestry Bulletin], 2011, no. 3, pp. 33–35 (In Russian).

8. Selimenkov R. Yu., Mironov A. V. Efficiency of innovative technologies in forest reproduction. *Problemy razvitiya territorii* [Problems of territory development], 2011, no. 3, pp. 51–58 (In Russian).

9. Yur'yeva A. L. Features of the structure of the root system of pine forest plantations as a sustainability factor. *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU* [Proceedings of the Forest Engineering Department of PetrSU], 2005, no. 6, pp. 82–86 (In Russian).

10. Zhigunov A. V., Danilov D. A., Shestakova T. A., Neverovskiy V. Yu. Influence of the planting material to increase plantings of spruce and pine on postagrogenic lands northwest Russia. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye*. [Bulletin of the Volga State Technological University. Series, Forest. Ecology. Nature management], 2016, no. 3 (31), pp. 30–39 (In Russian).

11. Zabolotskikh P. V. The growth of plantations of Scots pine, created a different kind of planting material, in the Republic of Mari El. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i*

praktika [Current research trends of the XXI century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, no. 5–4 (16–4), pp. 247–250 (In Russian).

12. Stepanov S. A., Zaytseva M. I. *Vyrashchivaniye i ispol'zovaniye posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [The cultivation and use of planting material with closed root system]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2016. 32 p.

13. Korchagov S. A., Gribov S. E., Obryadina O. Yu. Economic evaluation of planting a different kind of planting material. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of the higher educational institutions. Forest magazine], 2017, no. 5 (359), pp. 92–102 (In Russian).

14. Bartenev I. M., Aksenov A. A., Malyukov S. V. Influence of the type of planting material on the efficiency of reforestation on burners. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current research trends of the XXI century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 5–3 (10–3), pp. 15–19 (In Russian).

15. Gribov S. E. Forest-economic assessment of forest crops created by different types of planting material. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik* [Dairy Farming Bulletin], 2015, no. 1 (17), pp. 14–22 (In Russian).

Информация об авторах

Граник Александр Михайлович – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: granik@belstu.by

Крук Николай Константинович – кандидат биологических наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kruk@belstu.by

Information about the authors

Granik Aleksandr Mikhaylovich – PhD student, 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

Kruk Nikolay Konstantinovich – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kruk@belstu.by

Поступила 30.03.2018

УДК 630*232.329.9

**В. В. Носников, И. В. Соколовский, А. А. Домасевич, А. В. Юрения,
А. М. Граник, О. А. Селищева, А. В. Романчук**
Белорусский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНДУКТОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СУБСТРАТОВ НА ОСНОВЕ ВЕРХОВОГО ТОРФА

Электропроводность верхового торфа фрезерной заготовки торфяного месторождения «Журавлевское» в УП «Витебскоблгаз» филиал ПУ «Витебскторф», используемого для производства субстратов, изменяется от 0,03 до 0,16 мСм/см. Исследовано влияние саморазогревания верхового торфа в штабелях на его электропроводность и степень разложения. В результате саморазогревания и коксования верхового торфа фрезерной заготовки в штабелях происходит процесс его разложения, уменьшается размер частиц торфа, снижаются пористость и запас воздуха. Верховой торф со степенью разложения больше 25% не следует применять для малообъемного способа выращивания (выращивания растений в кассетах), так как для этой технологии очень важно достаточное содержание воздуха в субстрате.

Изучено изменение кислотности субстрата и электропроводности в зависимости от вносимых известковых материалов (доломитовой муки и мела). Установлено влияние влажности торфяного субстрата на изменение электропроводности в процессе хранения.

Ключевые слова: торф верховой, влажность, кислотность актуальная, электропроводность, нейтрализация, степень разложения.

**V. V. Nosnikov, I. V. Sokolovskiy, A. A. Domasevich, A. V. Yurenia,
A. M. Granik, O. A. Selischeva, A. V. Romanchuk**
Belarusian State Technological University

USE OF THE METHOD OF CONDUCTOMETRY FOR ESTIMATION OF THE QUALITY OF SUBSTRATES BASED ON SPHAGNUM PEAT

The electrical conductivity of the sphagnum milling peat of the peat deposit “Zhuravlevskoe” in the UE “Vitebskoblgaz”, branch of the PC “Vitebskorg”, used for the production of substrates varies from 0.03 to 0.16 mSm/cm. The influence of self-heating of the sphagnum peat in stacks on its electrical conductivity and the degree of decomposition is studied. As a result of self-heating and coking of milled peat in the stacks, the decomposition process takes place, the size of peat particles, the porosity and air reserve decrease. Sphagnum peat with a degree of decomposition greater than 25% should not be used for a low-volume method of growing (growing plants in container), because for this technology a sufficient air content in the substrate is very important.

The change in the acidity of the substrate and in the electrical conductivity depending on the input of lime materials (dolomite flour and chalk) was studied. The influence of the humidity of the peat substrate on the change in electrical conductivity during the storage process is established.

Key words: peat moss, humidity, acidity actual, electrical conductivity, neutralization, degree of decomposition.

Введение. При приготовлении субстрата в производственных условиях важно иметь возможность проводить экспресс-контроль качественных показателей как самого субстрата, так и главного его компонента – верхового торфа.

При выращивании сеянцев основных лесобразующих пород с использованием технологии закрытой корневой системы для приготовления субстрата используется сепарированный верховой торф фрезерной заготовки, комплексное минеральное удобрение, нейтрализующий материал, агроперлит, гранулированный суперфосфат и сульфат калия [1].

В состав используемых комплексных минеральных удобрений входит достаточно большое количество макро- и микроэлементов [1, 2, 3].

Кроме того, в процессе выращивания посадочного материала происходят изменения химических свойств субстрата, связанные с расходом питательных элементов за счет поглощения корневыми системами сеянцев, вымывания при интенсивном поливе [4].

Лабораторный химический анализ как наиболее точный метод не всегда доступен и имеет большую длительность проведения [5]. Использование метода кондуктометрии, при котором определяется электропроводность (ЕС) субстрата, позволяет в полевых условиях провести оценку как торфа, так и самого субстрата. Недостатком данного метода при измерении электропроводности является то, что этот показатель не дает информации о количественном

содержании в субстрате конкретных элементов питания [6].

Качество субстрата во многом зависит от характеристик используемого торфа. В процессе хранения иногда происходит саморазогревание торфа, которое является результатом взаимодействия физических, микробиологических, биохимических и электрохимических процессов. Склонность торфа к саморазогреванию определяется содержанием и свойствами его углеводного комплекса. В штабеле фрезерного торфа создаются благоприятные условия для развития микроорганизмов.

В верховом торфе углеводы обладают низкой термостойкостью, поэтому при температуре 50–60°C наблюдаются потери около 1% в месяц и более. С повышением температуры более 60°C потери возрастают до 5–10%. Однако и внешние факторы в значительной степени влияют на эти процессы. Между числом очагов самовозгорания в штабелях и суммарной эффективной испаряемостью существует тесная линейная связь [7]. Соответственно, актуальным является вопрос быстрого определения пригодности торфа, в котором начинаются процессы саморазогревания, для приготовления субстратов.

Одним из важнейших параметров торфа, как сырья для приготовления субстрата, явля-

ется степень его разложения, а также содержащаяся в нем влага [8, 9].

При производстве субстратов практически всегда происходит его нейтрализация. По данным Н. И. Пьявченко, кислотность верхового торфа северных регионов европейской территории составляет pH_{KCl} 2,8–3,7 [10]. В качестве нейтрализующего материала используется чаще всего доломитовая мука, реже мел. Они оказывают определенное влияние на показатель электропроводности [11].

Основная часть. Для постановки опытов был использован сепарированный верховой торф фрезерной заготовки торфяного месторождения «Журавлевское» в УП «Витебскоблгаз» филиал ПУ «Витебскторф».

Для изучения свойств торфа и торфяных субстратов применялись следующие методы исследования: величина pH определялась потенциометрическим методом с помощью pH-метра в солевой вытяжке KCl [12], для определения влажности – метод высушивания до постоянной массы [13], для анализа электропроводности использовался прибор PNT 3000 Combi [14].

Для предварительной оценки отбирались образцы торфа из штабелей в феврале 2017 г. на полях 2, 2А, 2В, 3, 5. У отобранных образцов определили общетехнические, химические характеристики, электропроводность (табл. 1–2).

Таблица 1

Верховой торф фрезерной заготовки, используемый для приготовления субстратов

Поля	pH_{KCl}	Электропроводность, мСм/см	Влажность, %		Плотность насыпная, кг/м ³				
			$W_{отн}$	$W_{абс}$	на фактическую влагу	на сухое вещество	при относительной влажности ($W_{отн}$)		
							40%	50%	60%
2	2,5	0,12	145,6	59,3	263	107	179	214	268
2А	2,5	0,03	57,2	36,4	150	95	159	191	238
3В	2,6	0,03	58,7	37,0	134	84	141	169	211
3	2,7	0,16	155,1	60,8	248	97	162	194	243
5	2,7	0,06	54,2	35,1	147	95	159	191	238

Таблица 2

Верховой торф фрезерной заготовки из штабеля, в котором начал наблюдаться процесс саморазогревания торфа (температура в очагах саморазогревания достигает 50°C и более)

Очаги саморазогревания торфа	Степень разложения, %	Электропроводность, мСм/см	Влажность, %		Плотность насыпная, кг/м ³				
			$W_{отн}$	$W_{абс}$	на фактическую влагу	на сухое вещество	при относительной влажности ($W_{отн}$)		
							40%	50%	60%
контроль	9	0,03	58,7	37,0	134	84	141	169	211
1	9	0,03	157,3	61,1	212	83	138	165	206
2	11	0,04	64,1	39,1	121	74	123	148	185
3	10	0,03	62,6	38,5	106	84	109	131	164

Из табл. 1 видно, что 1 м³ торфа в среднем при влажности 40% имеет массу около 160 кг, при влажности 50% – 190 кг, при влажности 60% – 240 кг. У торфа, заготовленного на полях 2А, 3В и 5, кислотность рН_{KCl} 2,5–2,7, электропроводность находится в пределах 0,03–0,06 мСм/см. Кислотность торфа с полей 2 и 3 равна также 2,5–2,7, но электропроводность составляет 0,12–0,16 мСм/см.

В результате саморазогревания и коксования верхового торфа фрезерной заготовки в штабелях происходит процесс его разложения, при этом уменьшается размер частиц торфа, снижаются пористость и запас воздуха, в то время как объемная масса увеличивается. Верховой торф со степенью разложения больше 25% не следует применять для малообъемного способа выращивания (выращивания растений в кассетах), так как для этой технологии очень важно достаточное содержание воздуха в субстрате.

Для изучения влияния процессов саморазогревания и коксования верхового торфа фрезерной заготовки в штабелях на изменение его общетехнических свойств были взяты его образцы (табл. 2) из штабеля на поле 3В, в очагах, где начал наблюдаться процесс саморазогревания (температура в очагах саморазогревания достигала 50°C и более), контрольный образец торфа брался из этого же штабеля.

Согласно положениям ГОСТ 33162-2014, разрабатываемый слой торфяной залежи должен быть сложен торфом верхового типа моховой группы, степень разложения торфа в разрабатываемом слое залежи не должна превышать 20%, рН солевой суспензии (рН_{KCl}) должна быть от 2,5 до 3,5, электропроводность не более 0,18 мСм/см. Торф, используемый для приготовления субстрата, должен быть светло-коричневого цвета и не иметь запаха, плесени, признаков коксования и саморазогревания [9].

Степень разложения в образцах торфа, отобранных в очагах саморазогревания и контрольном варианте из штабеля на поле 3В, составляет 9–11%, электропроводность находится в пределах 0,03–0,04 мСм/см. Кислотность рН_{KCl} у всех вариантов опыта была 2,6.

Сравнивая полученные результаты и результаты по полям 2, 2А, 3, 5, можно сделать вывод, что в штабеле заготовленного торфа на поле 3В не наблюдается значительных изменений общетехнических, химических характеристик, электропроводности торфа, хотя прослеживается возникновение процессов саморазогревания (температура в штабелях достигает 50°C и более). Данный торф пригоден для приготовления субстратов.

В январе 2018 г. из изучаемого штабеля на поле 3В были взяты образцы торфа из очагов,

где ранее наблюдались процессы возникновения саморазогревания и коксования. Результаты анализов приведены в табл. 3.

Таблица 3
Свойства верхового торфа фрезерной заготовки из штабелей, в которых наблюдается процесс саморазогревания и коксования

Очаги саморазогревания и коксования торфа	Степень разложения, %	Электропроводность, мСм/см
контроль	9	0,03
1	11	0,05
2	24	0,09
3	59	0,09

Исследования показывают, что хранение торфа в штабелях, где были замечены процессы саморазогревания торфа, приводят к изменению его цвета, появлению запаха, признаков коксования, увеличению степени разложения в 1,2–6,6 раз и электропроводности в 1,7–3,0 раз.

Качество верхового торфа, используемого для создания субстратов, зависит главным образом от образующих его растений и степени разложения. В верховом торфе низкой степени разложения хорошо видны остатки растений. При высокой степени разложения верховой торф представляет собой рыхлую массу. Цвет изменяется от светлого бурого и бурого при низкой степени разложения до темно-коричневого – при высокой.

Воздушный режим в торфяном субстрате определяется размером пор. Тонкие, мелкие поры чаще всего заполнены водой, крупные – воздухом. Размеры пор в большей степени зависят от размера частиц торфа. Чем меньше частицы торфа, тем неблагоприятнее для растений водно-воздушный баланс. Большое количество частиц размером 1 мм и менее приближает содержание воздуха в субстрате к нулю.

Содержание твердой фазы в верховом торфе составляет 3–10% объема, при этом поры занимают 80–97% объема. При наименьшей влагемкости запас воздуха не убывает ниже 35%.

Соответственно процессы саморазогревания и коксования приводят к увеличению степени разложения и, следовательно, к уменьшению размера частиц и нарушению воздушного баланса в используемом субстрате.

Одной из основных операций по приготовлению субстратов, в значительной мере изменяющей свойства торфа, является нейтрализация, для чего могут использоваться мука доломитовая и мел мелкогранулированный.

Торф, взятый для постановки опытов, характеризовался как пушицево-сфагновый, степень разложения – 18%, зольность – 4,7%, ак-

туальная кислотность pH_{KCl} – 2,5, относительная влажность – 50–60%, электропроводность – 0,05 мСм/см.

При проведении опыта по нейтрализации торфяного субстрата мелом было поставлено 3 варианта опыта в 3-кратной повторности с нормой внесения от 8 до 10 кг/м³.

Использование мела привело к постепенному изменению актуальной кислотности торфяного субстрата до pH_{KCl} 6,4–7,5 и установлению реакции среды на 6–7-е сут (табл. 4).

Таблица 4

Кислотность (pH_{KCl}) и электропроводность верхового торфа при проведении нейтрализации с учетом нормы внесения мела

Норма мела, кг/м ³	pH_{KCl}	Электропроводность, мСм/см
6	6,4	0,08
8	7,5	0,09
10	7,5	0,10

При проведении опыта по нейтрализации торфяного субстрата доломитом было поставлено 3 варианта в 3-кратной повторности с нормой внесения от 8 до 10 кг/м³. Использование доломита привело к постепенному изменению актуальной кислотности торфяного субстрата до pH_{KCl} 5,9–6,6 и установлению реакции среды на 14-е сут (табл. 5).

Таблица 5

Кислотность (pH_{KCl}) и электропроводность верхового торфа при проведении нейтрализации с учетом нормы внесения муки доломитовой

Норма муки, кг/м ³	pH_{KCl}	ЕС, мСм/см
6	5,9	0,06
8	6,4	0,06
10	6,6	0,07

Приведенные данные показывают, что от дозы и вида вносимого нейтрализующего материала зависит изменение электропроводности торфа. Изначально торф фрезерной заготовки имел электропроводность 0,05 мСм/см. При внесении мела 6 кг/м³ электропроводность увеличивается в 1,6 раза (0,08 мСм/см), 8 кг/м³ – в 1,8 раза (0,09 мСм/см), 10 кг/м³ – в 2,0 раза (0,10 мСм/см). Внесение муки доломитовой в дозировке: 6 и 8 кг/м³ изменяет электропроводность в 1,2 раза (0,06 мСм/см), а 10 кг/м³ – в 1,4 раза (0,07 мСм/см). По сравнению с мелом мука доломитовая при норме внесения 6–10 кг/м³ оказывает меньшее влияние на изменение электропроводности верхового торфа.

Для проведения опыта по нейтрализации торфяного субстрата доломитом и изменения

электропроводности было поставлено 4 варианта в 3-кратной повторности с нормой внесения от 2 до 4,5 кг/м³. Результаты опыта приведены в табл. 6.

Таблица 6

Изменение кислотности и электропроводности верхового торфа при внесении доломитовой муки

Доза доломитовой муки, кг/м ³	pH в KCl	Электропроводность, мСм/см
22.02.2017 г. (день постановки опыта)		
2	3,47	0,05
3	3,82	0,05
4	4,04	0,05
4,5	4,34	0,05
27.02.2017 г.		
2	3,61	0,05
3	4,11	0,05
4	4,48	0,05
4,5	4,79	0,05
13.03.2017 г.		
2	3,67	0,05
3	4,18	0,05
4	4,68	0,05
4,5	5,07	0,05

Данные опыта показывают, что внесение муки доломитовой от 2 до 4,5 кг/м³ в торф фрезерной заготовки в процессе нейтрализации не приводит к изменению электропроводности торфа.

Для проведения опыта по определению изменения электропроводности торфяного субстрата в зависимости от исходной влажности были поставлены 3 варианта в 2-кратной повторности. Был взят торф фрезерной заготовки с поля 5 (актуальная кислотность (pH_{KCl}) – 2,7, электропроводность (ЕС) – 0,06 мСм/см. Фрезерный торф был отсепарирован (фракция 0–7 мм), к нему были добавлены доломитовая мука в дозировке 4 кг/м³ и удобрения: PG-mix 12-14-24+micro в дозировке 1,4 кг/м³, суперфосфат гранулированный (д. в. P₂O₅ – 28%) в дозировке 3,2 кг/м³, сульфат калия (д. в. K₂O – 46%) в дозировке 0,5 кг/м³ [1] и доведен до влажности 40%, 50% и 60% по вариантам опыта. Результаты опыта приведены в табл. 7.

Растворимость удобрений зависит от наличия влаги в торфяном субстрате. Результаты опыта показывают, что с увеличением относительной влажности увеличивается и электропроводность. С течением времени эта закономерность сохраняется. Увлажнение субстрата приводит к быстрому увеличению электропроводности (растворению удобрений и переходу питательных веществ в доступную форму).

Таблица 7
**Влияние относительной влажности
 на растворимость внесенных удобрений
 в субстрат в процессе хранения**

Вариант опыта	Влажность $W_{отн}$, %	Электропроводность, мСм/см
22.02.2017 г. (день постановки опыта)		
1	40	0,63
2	50	0,65
3	60	0,66
09.03.2017 г.		
1	40	0,73
2	50	0,74
3	60	0,77
16.03.2017 г.		
1	40	0,67
2	50	0,81
3	60	0,81
30.03.2017 г.		
1	40	0,73
2	50	0,76
3	60	0,94

При хранении субстрата длительное время на открытых площадках с постепенным увлажнением происходит не только нейтрализация торфяного субстрата, но и растворение в нем удобрений, что впоследствии способствует развитию грибов и водорослей.

Заключение. Заготовленный фрезерный торф с торфяного месторождения «Журавлевское» в УП «Витебскоблгаз» филиал ПУ «Витебскторф» соответствует ГОСТ 33162-2014 и является пригодным для приготовления торфяных субстратов.

Хранение торфа в штабелях, где были замечены процессы его саморазогревания, при-

водит к изменению его цвета, появлению запаха, признаков коксования, изменению общетехнических характеристик, электропроводности торфа.

От дозы и вида вносимого нейтрализующего материала зависит изменение электропроводности торфа. Внесение доломитовой муки в дозировке от 2 до 4,5 кг/м³ в процессе нейтрализации не приводит к изменению электропроводности торфяного субстрата. Внесение доломитовой муки в дозировке 6 и 8 кг/м³ изменяет электропроводность в 1,2 раза, а 10 кг/м³ – в 1,4 раза, а установление реакции среды происходит на 14-е сут. При внесении мела 6 кг/м³ электропроводность увеличивается в 1,6 раза, 8 кг/м³ – в 1,8 раза, 10 кг/м³ – в 2,0 раза, а установление реакции среды происходит на 6–7-е сут. По сравнению с мелом доломитовая мука при дозе внесения 6–10 кг/м³ оказывает меньшее влияние на изменение электропроводности торфяного субстрата.

С увеличением относительной влажности торфяного субстрата повышается и электропроводность, причем со временем значение данного параметра постепенно растет за счет постепенного растворения удобрений и перехода питательных веществ в доступную форму. Повышение влажности субстрата приводит к более значительному увеличению электропроводности.

При хранении субстрата в течение времени на открытых площадках за счет повышения влажности субстрата происходит постепенная его нейтрализация с одновременным растворением удобрений, что может явиться причиной развития грибов и водорослей на внутренней стороне упаковки.

Литература

1. Материал лесной посадочный хвойных пород с закрытой корневой системой. Технические условия: ТУ ВУ 100061961.001-2015. Введ. 2015. Минск: МЛХ, 2015. 6 с.
2. Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для лесовосстановления: автореферат дис. д-ра. с.-х. наук. СПб.: Изд-во СПбЛТА, 1998. 47 с.
3. Технология выращивания посадочного материала сосны и ели с закрытой корневой системой: научно-техническая информация в лесном хозяйстве / РУП «Белгипролес». Минск, 2007. Вып. 4. 32 с.
4. Бородаенко К. И. Приготовление органических питательных субстратов для тепличного овощеводства // Тезисы интернет-конференции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.smu.psp.ru/main> (Дата доступа: 02.03.2016).
5. Соколовский И. В., Домасевич А. А., Юрени А. В. Практикум по почвоведению с основами земледелия. Минск: БГТУ, 2016. 184 с.
6. Шишкин П. В. Контроль технологических параметров при выращивании сельскохозяйственных культур. Гавриш, 2012. № 4. С. 17–15.
7. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа: учебн. пособие / В. И. Смирнов [и др.]; под ред. В. И. Смирнова. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2007. 392 с.
8. Костюк Н. С. Физика торфа. Минск: Выш. шк., 1967. 214 с.

9. Торф низкой степени разложения. Технические условия: ГОСТ 33162-2014. Введ. 01.04.2016. М.: Росстандарт, 2016. 10 с.
10. Пьявченко Н. И. Изменение биологической активности торфяных почв под воздействием мелиораций. Л.: Наука, 1982. 163 с.
11. Бабков А. В. Агротехнология выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой // Лесное и охотничье хоз-во. 2013. № 10. С. 9–13.
12. 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, 1990.
13. Торф. Методы определения влаги: ГОСТ 11305-85. Введ. 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1985.
14. STEP Systems GmbH – Soil – Water – Climate Testing Equipment – Professional Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.stepsystems.de/149-1-PNT-3000-Combi.html> (Дата доступа: 21.03.2018).

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. Zhigunov A. V. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy dlya lesovosstanovleniya: Dis. d-ra. s.-kh. nauk* [Theory and practice of growing a planting material with a closed root system for reforestation: Doct. diss.]. St. Petersburg, SPbLTA Publ., 1998. 47 p. (In Russian).
3. *Tekhnologiya vyrashchivaniya posadochnogo materiala sosny i eli s zakrytoy kornevoy sistemoy: nauchno-tekhnicheskaya informatsiya v lesnom khozyaystve* [Technology of cultivation of planting material of pine and spruce with closed root system: scientific and technical information in forestry]. RUP “Belgiproles” Publ., Minsk, 2007, vyp. 4. 32 p. (In Russian)
4. Bondarenko K. I. Preparation of organic nutrient substrates for greenhouse vegetable growing. *Tezisy internet-konferentsii* [Theses of the Internet-conference]. Available at: <http://www.smu.psn.ru/main> (accessed 02.03.2016).
5. Sokolovskiy I. V., Domasevitch A. A., Yurenaya A. V. *Praktikum po pochvovedeniyu s osnovami zemledeliya* [Workshop on soil science with the basics of agriculture]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 184 p.
6. Schischkin P. V. Control of technological parameters in the cultivation of crops. *Gavrish* [Gavrish], 2012, no. 4, pp. 15–17 (In Russian).
7. Smirnov V. I., Vasil'ev A. N., Afanas'ev A. E., Boltuchkin A. N. *Prakticheskoye rukovodstvo po organizatsii dobychi frezernogo torfa* [Practical guidance on the organization of mining of milling peat]. Tver, TGTU Publ., 2007. 392 p.
8. Kostyuk N. S. *Fizika torfa* [Peat physics]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1967. 214 p.
9. GOST 33162–2014. Peat of low degree of decomposition. Technical specifications. Moscow, Rosstandart Publ., 2016. 10 p.
10. P'yavchenko N. I. *Izmeneniye biologicheskoy aktivnosti torfyanykh pochv pod vozdeystviem melioratsiy* [The change of the biological activity of peat soils under the influence of reclamation]. Leningrad, Nauka Publ., 1982. 163 p.
11. Babkov A. V. Agrotechnology of growing coniferous planting stock with a closed root system. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting economy], 2013, no. 10, pp. 9–13 (In Russian).
12. GOST 11623-89. Peat and products of its processing for agriculture. Methods of determination of exchange and active acidity. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 6 p. (In Russian).
13. GOST 11305-85. Peat. Methods for determining moisture. Moscow, Standartinform Publ., 1985. 12 p. (In Russian).
14. STEP Systems GmbH – Soil – Water – Climate Testing Equipment – Professional Systems. Available at: <http://www.stepsystems.de/149-1-PNT-3000-Combi.html> (accessed 21.03.2018).

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

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

Домасевич Александр Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: damasevich@rambler.ru

Юреня Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель 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 – аспирант 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 – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksana_selishcheva@rambler.ru

Романчук Александр Валерьевич – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexanderromanchyk1992@yandex.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

Sokolovskiy Ivan Vasil'yevich – 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: sokolovskiy@belstu.by

Domasevich Aleksandr Aleksandrovich – 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: damasevich@rambler.ru

Yurenya Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, 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 – PhD student, 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 student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oksana_selishcheva@rambler.ru

Romanchuk Aleksandr Valer'yevich – PhD student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Alexanderromanchyk1992@yandex.ru

Поступила 25.03.2018

УДК 630*228.3

В. Ф. Решетников, К. М. Сторожишина
Жорновская экспериментальная лесная база

ВЛИЯНИЕ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО НА РОСТ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В СМЕШАННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ИСКУССТВЕННОГО И ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Приведены материалы исследования дубово-кленовых культур фитоценозов и насаждений естественного происхождения в условиях снытевой и кисличной серий типов леса.

Сведения о росте дубово-кленовых культур фитоценозов собраны на постоянных опытных объектах Жорновской экспериментальной лесной базы. Применение при посадке экспериментальной схемы смешения пород и размещения их на лесокультурной площади, своевременное проведение агротехнических и лесоводственных уходов позволяет сегодня наблюдать за формированием устойчивого дубово-кленового насаждения (состав в 12-летнем возрасте – 6Д4Кл, сомкнутость полога – 100%, высокие показатели роста). Посадка лесных культур с широкими междурядьями, несмотря на своевременность уходов, привела к обилию естественного возобновления клена. При обследовании насаждения в 16-летнем возрасте установлено, что запас клена естественного происхождения достигает 50%. По показателям роста естественный клен существенно преобладает над дубом: по средней высоте – на 2 м, по среднему диаметру – на 2,3 см.

На основании материалов временных пробных площадей Лунинецкого и Петриковского лесхозов оценены показатели роста средневозрастных и припевающих дубово-кленовых насаждений естественного происхождения.

Ключевые слова: лесные культуры, состав насаждения, продуктивность, схема смешения древесных пород, теневыносливая порода.

V. F. Reshetnikov, K. M. Storozhishina
Zhornovskaya Experimental Forest Base

INFLUENCE OF THE NORWAY MAPLE ON GROWTH OF THE ENGLISH OAK IN MIXED PLANTATIONS OF ARTIFICIAL AND NATURAL ORIGIN

Materials of the study of the oak and maple cultures of phytocenoses and plantations of natural origin in the conditions of glague and oxalis types of the forest are presented.

Data on growth of oak and maple cultures of phytocenoses are collected at constant experimental objects of Zhornovskaya experimental forest base. Application during planting of the experimental scheme of mixture of breeds and their placements on the silvicultural area, timely carrying out agrotechnical and silvicultural caring allows watching formation of steady oak and maple plantations today (structure in 12-year-old ones – 6O4M, density of bed curtains – 100%, high rates of growth). Planting of forest cultures with wide row-spacing, despite timeliness of caring, led to the possibility of natural renewal of a large number of the maple. At a closer look at the plantations of 16-year-old it has been found out that the stock of the maple of natural origin reaches 50%. According to growth indicators the natural maple significantly prevails the oak: in average height – 2 m, in average diameter – 2.3 cm.

On the basis of materials of the temporary trial areas of Luninetsky and Petrikovsky forestries indicators of growth of the middle-aged and coming oak and maple plantations of natural origin are estimated.

Key words: forest cultures, structure of plantations, efficiency, scheme of mixture of tree species, shade-bearing breed.

Введение. Создание и выращивание смешанных насаждений хозяйственно ценных пород у лесоводов в приоритете. Породный состав лесов напрямую связан с комплексом лесокультурных работ.

В условиях Беларуси благоприятные почвенно-климатические условия для успешного выращивания высокопродуктивных насаждений дуба черешчатого. Природе дубрав свойственен смешанный состав. Многоярусность дубовых насаждений также является их характерной особенностью.

Лесорастительные и почвенно-климатические условия Беларуси позволяют успешно выращивать насаждения дуба в смешении с липой, кленом и елью – древесными породами, подбирать которые необходимо с учетом возможного ценотического влияния между ними.

Клен остролистный является неотъемлемым компонентом дубовых насаждений. Характери-

стическая особенность дубовых насаждений – высокая доля естественного возобновления клена.

зуются теневыносливостью, требовательностью к плодородию почвы. Несмотря на то, что на протяжении первых 20 лет он растет интенсивнее дуба, со временем в насаждениях образует второй ярус. Но при его преобладании в составе древостоя клен способен вытеснять другие породы – обильный самосев и хорошая приживаемость обеспечивают его распространение в насаждении. Также по мнению Ф. Н. Харитоновича [1], в степных условиях клен оказывает угнетающее действие на дуб до жерднякового возраста – при отсутствии своевременных рубок ухода ожидается отпад дуба. В то же время клен остролистный относится к самым ценным компонентам дубрав степи [2, 3].

Не являясь конкурентом дуба в смешанных насаждениях, клен остролистный своим пологом поглощает большое количество света, тем самым угнетает травянистую растительность и создает благоприятные условия для роста дуба [4].

Исследования корневых систем смешанных насаждений дуба свидетельствуют об активном перемещении минеральных элементов питания из подгонных пород (клена, липы) в дуб, что подтверждает положительную роль данных пород в дубравах [5, 6].

В лесорастительных условиях Беларуси клен является основным компонентом широколиственных лесов [7]. Успешно растет на богатых дерново-подзолистых, супесчаных и суглинистых почвах. Более продуктивными являются кленовики искусственного происхождения [8]. Опыт выращивания смешанных культур дуба с кленом и липой в богатых условиях местопроизрастания с временным избыточным увлажнением показал, что клен сильно уступает другим породам по росту, имеет низкую сохранность [9].

Выращивание продуктивных насаждений дуба с кленом зависит от условий местопроизрастания, лесокультурных особенностей создания смешанных насаждений, своевременного применения рубок ухода.

Основная часть. Объектами исследования явились насаждения дуба с кленом искусственного и естественного происхождения ГЛХУ «Жорновская ЭЛБ Института леса НАН Беларуси», ГЛХУ «Петриковский лесхоз» и ГЛХУ «Лунинецкий лесхоз».

Одним из успешных примеров формирования и выращивания дубово-кленовых культур служит постоянный опытный объект ГЛХУ «Жорновская ЭЛБ Института леса НАН Беларуси».

Дубово-кленовые культуры созданы в 2002 г. на буреломно-ветровальной вырубке. Из исто-

рии создания объекта известно, что осенью 2001 г. данный участок был поврежден ураганом. Сплошная санитарная рубка велась зимой 2001–2002 г. Состав вырубленного насаждения: 9Е1Б + Ос + Д. Тип лесорастительных условий: Д₂₋₃ (ельник снытево-кисличный). Очистка лесосеки: сжигание порубочных остатков весной 2002 г. непосредственно перед посадкой. Обработка почвы под посадку лесных культур не производилась.

Размещение древесных пород на лесокультурной площади предусматривалось экспериментальное – трехрядные биогруппы дуб – клен – дуб чередовались через 4,5 м. Соблюдались расстояние между посадочными местами дуба в ряду – 0,75 м; клена – 0,9 м. В качестве посадочного материала использовались 2-летние сеянцы дуба и 4–5-летние «дички» клена.

В первый год посадки культур на вырубке появилось большое количество (44 000 шт./га) естественного возобновления древесных и древесно-кустарниковых пород (рис. 1).

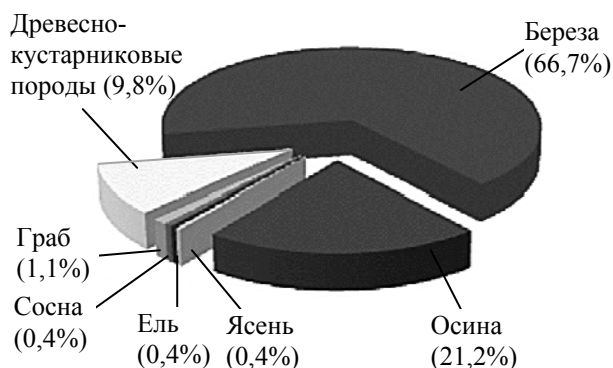


Рис. 1. Естественное возобновление древесных пород в год посадки дубово-кленовых культур

Характер размещения естественного возобновления – куртинами, неравномерно и по высоте преимущественно ниже дуба.

Из уходов проведены лесокультурные – в первые три года по одному уходу (окашивание), в 5-летнем и 10-летнем возрасте проведено осветление, в результате чего вырублено, соответственно, 3,7 и 53,3 м³/га.

В настоящее время на участке произрастают смешанные культуры дуба составом 6Д4Кл, которым характерен успешный рост и благонадежное состояние (таблица).

В данном возрасте сохранность дуба составила 72,2 %, клена – 63,5%.

Систематический мониторинг на постоянном опытном объекте свидетельствует о схожести темпа роста в высоту дуба и клена при одновременной посадке их в культуры (рис. 2).

Таксационная характеристика дубово-кленовых культур (Лапичское л-во, кв. 204)

Тип леса	Состав	Порода	Коэффициент участия, %	А, лет	$H_{ср.}$, м	$D_{ср.}$, см	N , шт./га	Бонитет	Запас, $m^3/га$
Д. сн.	6Д4Кл	Дуб	60,3	12	6,7	6,5	2350	I-Ia	30
		Клен	39,7		6,5	4,7	780		20
		<i>Итого по породам</i>					3130		50

При учете биометрических показателей в 5-летнем возрасте преобладание по средней высоте дуба по отношению к клену достигало 20 см. К 12-летнему возрасту разница высот культивируемых пород незначительна. В настоящее время клен уступает дубу по среднему диаметру (дуб – 6,5 см, клен – 4,7 см), несмотря на одинаковый показатель среднего диаметра при посадке культур (дуб – 0,6 см, клен – 0,61 см).

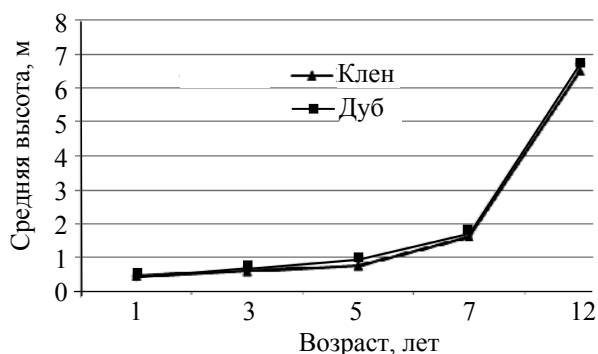


Рис. 2. Динамика средней высоты древесных пород в смешанных культурах

Влияние естественного возобновления клена на формирование смешанных лесных культур и рост главной породы в них оценивался на основании материалов наблюдения на постоянном опытном объекте ГЛХУ «Жорновская ЭЛБ Института леса НАН Беларуси». Из истории объекта известно, что дубово-кленовые культуры были созданы в 1993 г. на свежей нераскорчеванной вырубке, где ранее произрастал березняк снытевый. Тип лесорастительных условий: Д₃. Число посадочных мест – 4200 шт./га.

Посадка лесных культур производилась механизированным способом со схемой смешения Д – Д – Кл – Д – Д, расстояние между рядами 3,5–4,0 м, между посадочными местами дуба в ряду – 0,5 м, клена – 1,0 м. В качестве посадочного материала использовались однолетние сеянцы.

Из уходов на опытном объекте известно, что, кроме лесокультурных, проведены осветление – в 6- и 10-летнем возрасте (вырублено, соответственно, 20 и 73,9 m^3 древесины), прочистка – в 14-летнем возрасте (вырублено 21,6 m^3).

Обследование лесных культур в 8-летнем возрасте показало, что на участке сильно развито разнообразие пород естественного возобновления (рис. 3). В этом возрасте на долю лещины

приходится около 30% запаса, к 16-летнему возрасту ее запас составляет не более 6%.

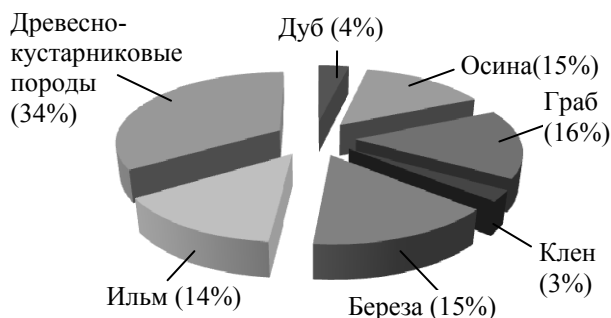


Рис. 3. Естественное возобновление древесных пород в 8-летних дубово-кленовых культурах

Соотношение запаса культивируемых пород (дуба и клена) в 8-летнем возрасте было таким, что клена насчитывалось в 4 раза больше (рис. 4). Клен искусственного и естественного происхождения учитывался вместе. По количеству стволов участие клена в культурфитоценозе увеличилось в три раза, численность дуба сократилась в 2,4 раза. По средней высоте клен опережал дуб более чем на 1 м.

При обследовании культур в 16-летнем возрасте было установлено, что основную долю запаса составляет естественное возобновившийся клен остролистный (16 $m^3/га$, или 48%). По показателям роста он существенно преобладает над дубом: по средней высоте – на 2 м, по среднему диаметру – на 2,3 см.

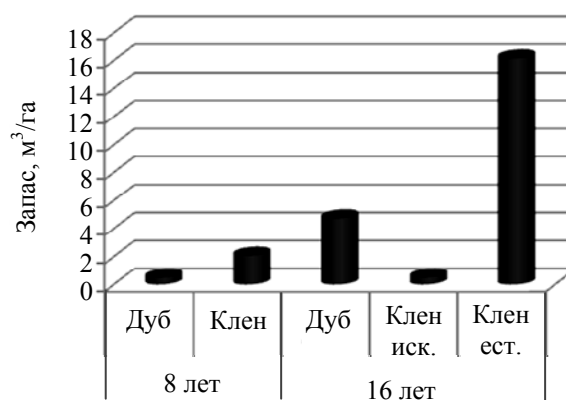


Рис. 4. Динамика запаса дуба и клена в лесных культурах

Материалы наблюдения за ростом культур на данном объекте свидетельствуют о том, что

естественно возобновившийся клен оказывает угнетающее действие на культуры. Несмотря на уход, наблюдается сильное заглушение дуба и клена искусственного происхождения.

Особенности формирования насаждений дуба с кленом естественного происхождения оценены на временных пробных площадях. Анализировались насаждения 50-, 75- и 85-летнего возраста, произрастающие в условиях кисличной серии типов леса. Отмечено, что в 50-летнем дубово-кленовом насаждении деревья дуба и клена находятся в одном пологе. В насаждениях более старшего возраста клен переходит под полог древостоя дуба (рис. 5).

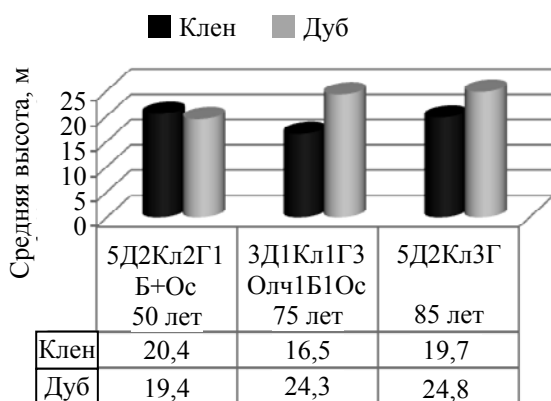


Рис. 5. Показатели дубово-кленовых насаждений естественного происхождения

Проведенные нами исследования показывают, что темпы роста и продуктивности дубово-кленовых насаждений соответствуют наблюдениям А. Д. Букштынова, которые свидетельствуют об интенсивном росте клена до 40–50 лет, а в дальнейшем о его переходе под полог древостоя дуба [10].

Заключение. По темпу роста в высоту клен остролиственный в возрасте молодняка характеризуется как быстрорастущая порода и значительно может опережать дуб в посадках. Регулировать рост и влияние клена в культурах возможно, прибегая к применению полосно-группового метода посадки культур. В данном случае создание лесных культур смешанными кулисами с междурядьями в них 2 м на данный момент обеспечивает высокую сохранность культур, устойчивость и продуктивность.

При развитии полога из клена естественного происхождения в культурах следует увеличить интенсивность ухода относительно этой породы.

Благодаря относительно высокой толерантности клена к низкой освещенности и возможности длительного существования под пологом леса, наличие большого количества «волн» роста клена целесообразно производить посадку клена под полог низкополнотных насаждений и формировать сложные древостои.

Литература

1. Харитонович Ф. Н. Биология и экология древесных пород. М.: Лесная пром-сть, 1968. 304 с.
2. Калининченко Н. П. Клен остролиственный в степном лесоразведении: автореф. дис... канд. с.-х. наук. М., 1961. 19 с.
3. Лавриненко Д. Д. Взаимоотношения древесных пород в различных типах леса. М.: Лесная пром-сть, 1965. 247 с.
4. Расторгуев Л. И. Опыт культур клена в Лесной опытной даче ТСХА: автореф. дис... канд. с.-х. наук. М., 1953. 24 с.
5. Рахтеенко И. Н. Состояние и перспективы дальнейшего улучшения воспроизводства и повышения продуктивности дубрав в Белорусской ССР // Тезисы докладов науч.- практич. конф. (Осиповичи, 20–21 авг. 1980 г.). Минск, 1980. С. 15–18.
6. Солдатов А. Г. Корневые системы древесных пород. Киев: Госсельхозиздат, 1955. 104 с.
7. Юркевич И. Д. Лесотипологические таблицы. Минск: Наука и техника. 1968. 46 с.
8. Клыш А. С., Якимов Н. И. Сравнительная продуктивность искусственных и естественных кленовых насаждений // Сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2012. Вып. 727: Проблемы лесоведения и лесоводства. С. 194–202.
9. Герасименко М. В., Соколовский И. В. Свойства почвы и продуктивность искусственного насаждения дуба черешчатого // Труды БГТУ. Сер I, Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 147–149.
10. Букштынов А. Д. Клен. М.: Лесная пром-сть, 1982. 86 с.

References

1. Kharitonovich F. N. *Biologiya i ekologiya drevesnykh porod* [Biology and ecology of tree species]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1968. 304 p.
2. Kalinichenko N. P. *Klen ostrolistnyy v stepnom lesorazvedenii: Avtoref. dis. kand. s-kh. nauk* [Maple-spruce in steppe afforestation. Abstract of thesis cand. of leg. sci.]. Moscow, 1961. 19 p.
3. Lavrinenko D. D. *Vzaimootnosheniya drevesnykh porod v razlichnykh tipakh lesa* [Interrelationships of tree species in different types of forest]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1965. 247 p.

4. Rastorguev L. I. *Opyt kul'tur klenu v Lesnoy opytnoy dache TSHA: Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Experience of maple cultures in the forest experimental dacha of the TLCA. Abstract of thesis cand. of leg. sci.]. Moscow, 1953. 24 p.
5. Rahtenko I. N. The state and prospects of further improving the reproduction and productivity of oak groves in the Byelorussian SSR. *Tezisy докладov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Theses of the reports of the scientific-practical conference]. Osipovich, 1980, pp. 15–18 (In Russian).
6. Soldatov A. G. *Kornevyye sistemy drevesnykh porod* [Root systems of tree species]. Kiev, Gossel'khozizdat Publ., 1955. 104 p.
7. Yurkevich I. D. *Lesotipologicheskiye tablitsy* [Lesotypological tables]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1968. 46 p.
8. Klysh A. S., Yakimov N. I. Comparative productivity of artificial and natural maple plantations. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Problems of Forest and Forestry: collection of scientific works of Institute of Wood of NAS of Belarus]. Gomel', 2012, issue 727, pp. 194–202 (In Russian).
9. Gerasimenko M. V., Sokolovskiy I. V. Soil properties and productivity of artificial oak tree planting. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 147–149 (In Russian).
10. Bukshynov A. D. *Klen* [Maple]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1982. 86 p.

Информация об авторах

Решетников Владимир Федорович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник. Жорновская экспериментальная лесная база (213763, г. Осиповичи, ул. Чапаева, 23а, Республика Беларусь). E-mail: zorlos@yandex.by

Сторожихина Кристина Мирославовна – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий научным отделом. Жорновская экспериментальная лесная база (213763, г. Осиповичи, ул. Чапаева, 23а, Республика Беларусь). E-mail: storozhishina@gmail.com

Information about the authors

Reshetnikov Vladimir Fedorovich – PhD (Agriculture), Leading Researcher. Zhornovskaya Experimental Forest Base (23a, Chapayeva str., 213763, Osipovich, Republic of Belarus). E-mail: zorlos@yandex.by

Storozhishina Kristina Miroslovovna – PhD (Agriculture), Head of the Scientific Department. Zhornovskaya Experimental Forest Base (23a, Chapayeva str., 213763, Osipovich, Republic of Belarus). E-mail: storozhishina@gmail.com

Поступила 12.03.2018

УДК 630*232.411.5

А. В. Романчук, А. В. Юреня

Белорусский государственный технологический университет

**СОЗДАНИЕ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СЕЯНЦАМИ,
ВЫРАЩЕННЫМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ**

Изучены почвенные условия посевного отделения лесного питомника ГЛХУ «Смолевичский лесхоз». Для выращивания сеянцев сосны обыкновенной в посевном отделении обследуемого питомника почва характеризуется хорошей структурой, порозностью и благоприятными водно-физическими свойствами, которые в наибольшей степени достигаются в данных условиях. Выращивание посадочного материала сосны обыкновенной проводилось при использовании комплексного минерального удобрения пролонгированного действия «Осмокот 6М». При посеве семян применялась ленточная четырехстрочная (с равномерным размещением строк) схема с расстоянием между строками 25 см и шириной строки 3 см. Внесение удобрения пролонгированного действия проводилось одновременно с посевом семян. Все сеянцы сосны обыкновенной, выращенные с применением комплексного минерального удобрения пролонгированного действия, достигали и значительно превышали биометрических показателей стандартного посадочного материала в конце вегетации. Также данные сеянцы имели во всех случаях сформированную верхушечную почку раньше, чем производственные сеянцы. Лесные культуры сосны обыкновенной, выращенные с применением комплексного минерального удобрения «Осмокот 6М», создавались ручным способом на территории Минской и Брестской областей в различных почвенных условиях. Рост однолетних культур, созданных сеянцами с применением данного удобрения, в конце вегетации превысил контрольные посадки по средней высоте на 20–34%, по диаметру – на 15–25% на различных почвах.

Ключевые слова: почва, сосна обыкновенная, удобрение комплексное, сеянец, отделение посевное, культуры лесные, посадка, показатели биометрические.

A. V. Romanchuk, A. V. Yurenya

Belarusian State Technological University

**CREATION OF FOREST CROPS BY SEEDLINGS GROWN
WITH THE USE OF COMPLEX FERTILIZERS OF PROLONGED ACTION**

The studied soil conditions the seed branch of the forest nursery SFC “Smolevichi forestry”. For the cultivation of pine seedlings in the sowing compartment of the surveyed nursery, the soil is characterized by a good structure, porosity and favorable water-physical properties, which are most achieved under these conditions. Cultivation of planting material of an ordinary pine was carried out at use of complex mineral fertilizer of the prolonged action “Osmokot 6M”. When sowing seeds used tape, four-line (with uniform placement of rows) scheme with a distance between the rows of 25 cm and a row width of 3 cm fertilizer prolonged action was carried out simultaneously with sowing seeds. All pine seedlings grown with the use of a complex mineral fertilizer of prolonged action reached and significantly exceeded the biometric parameters of the standard planting material at the end of the growing season. Also, these seedlings had, in all cases, SFOR-mirowaves the terminal Bud before the production of the seedlings. Forest pine crops grown with the use of complex mineral fertilizer “Osmokot 6M” were created manually on the territory of Minsk and Brest regions in different soil conditions. The growth of one-year-old crops created by seedlings using this fertilizer at the end of the vegetation exceeded the control planting at an average height of 20–34%, in diameter – by 15–25% on different soils.

Key words: soil, pinus sylvestris, complex fertilizer, seedling, sowing department, forest cultures, planting, biometric indicators.

Введение. Для получения высококачественного посадочного материала почва в питомнике должна быть достаточно плодородной. С этой целью необходимо систематически вносить в нее органические и минеральные удобрения, в противном случае будет наблюдаться обеднение почвы [1]. Оно происходит в резуль-

тате выкопки из питомников посадочного материала, вместе с которым из почвы выносятся значительное количество питательных веществ, а также в результате вымывания из почвы растворимых веществ атмосферными осадками и поливными водами [2–4]. При использовании удобрений в производственных условиях сле-

дует опираться на данные исследований, учитывать почвенно-климатические и экономические условия различных природных зон, особенности питания древесных пород, а также целевую направленность каждого конкретного лесохозяйственного объекта. Бессистемное внесение удобрений не приносит положительных результатов, но оказывает отрицательное влияние. Удобрения влияют на размеры и фитомассу посадочного материала, а также на его качество. Сеянцы и саженцы, выращенные в оптимальных условиях питания, имеют более мощный ствол, хорошо развитую корневую систему, более благоприятное соотношение масс отдельных частей растения, накапливают большее количество запасных питательных веществ, расходуемых при пересадке на регенерацию корневой системы и первоначальный рост. Этим и объясняется лучшая приживаемость и рост таких сеянцев и саженцев, а также более высокая устойчивость их против неблагоприятных факторов (засухи, повреждения энтомо- и фитовредителями и т. д.) [5, 6]. Сроки внесения и способы заделки основного удобрения зависят от ряда факторов [7, 8]. Определяющими являются климатические и погодные условия. При избыточном увлажнении (дерново-подзолистые почвы) с основным удобрением зачастую вносят только 50% от нормы, выделяемой под культуру [8, 9]. Остальная часть вносится в рядки при посеве и в подкормку. На тяжелых заплывающих почвах в зоне дерново-подзолистых почв весной часто приходится делать перепашку зяби и в этом случае удобрения лучше вносить весной до посева с последующей заделкой культиватором [10–11].

Главная цель припосевного внесения удобрений – обеспечить оптимальное питание растений в начальные стадии развития и роста [12–14]. Локальное внесение удобрений вместе с семенами обеспечивает растениям благоприятные условия в первый период жизни, что очень важно, особенно в зоне недостаточного увлажнения. Растения быстрее развиваются и легче переносят недостаток влаги, а также повреждения от вредителей и болезней. Это, в свою очередь, создает предпосылки для того, чтобы выдержать конкуренцию за элементы питания и дефицитную влагу с сорняками [15]. В качестве вносимого удобрения было выбрано комплексное минеральное удобрение пролонгированного действия «Осмокот 6М». Удобрение «Осмокот 6М» состоит из NPK элементов, необходимых для роста растения. Каждая гранула покрыта органической полупроницаемой оболочкой (наподобие мембраны) из биоразлагаемой смолы, полученной из растительных жиров и полимера. После внесения удобрения

«Осмокот 6М» вода проникает через полупроницаемую оболочку и начинает растворять питательные вещества внутри гранулы. Выделение питательных веществ начинается после их растворения благодаря разнице в осмотическом давлении. После чего растение способно усваивать питательные вещества. Удобрение начинает действовать на протяжении 1–2 недель, что зависит от длительности удобрения. Гранулы удобрения начинают действовать при температуре, выше температуры заморозания. Под воздействием положительной температуры оболочка ежедневно выделяет питательные вещества. Указанная продолжительность действия удобрения рассчитана на 21°C. При более высокой температуре выделение питательных веществ будет быстрее, при низшей – медленнее, согласно требованиям растений в питании.

В научной литературе встречается мнение, что сеянцы, выращенные в благоприятных условиях с применением достаточного количества удобрений, на лесокультурной площади при их высаживании имеют плохую приживаемость, так как попадают в более экстремальные условия и испытывают сильный стресс. Поэтому для установления успешности приживаемости в лесных культурах сеянцев, выращенных с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия, был поставлен следующий опыт.

Основная часть. Сеянцы сосны обыкновенной выращивались в лесном питомнике ГЛХУ «Смолевичский лесхоз». Перед посевом проводилось детальное обследование почвы, отведенное под посевное отделение сосны обыкновенной. Посев семян сосны обыкновенной осуществлялся одновременно с внесением комплексного минерального удобрения «Осмокот 6М». Дозировка данного удобрения составляла 2 г на пог. м.

По происхождению почвообразующих пород и морфологическим признакам пахотный горизонт представлен супесью связной моренной. Норма высева семян бралась из расчета 1,5 г на пог. м. Для посева семян сосны обыкновенной мы применяли ленточную четырехстрочную (с равномерным размещением строк) схему с расстоянием между строками 25 см и шириной строки 3 см. Семена сосны обыкновенной имели 1-й класс качества (лабораторная всхожесть составляла 97%).

Осенью 2016 г. и весной 2017 г. были созданы лесные культуры сосны обыкновенной посадочным материалом, выращенным в питомнике с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия. Также в качестве альтернативного варианта были выбраны для создания лесных культур

сеянцы сосны обыкновенной, выращенные в этом же лесхозе при применении современной интенсивной технологии выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС). В качестве сопутствующих пород использовались сеянцы липы мелколистной (ЗКС) однолетнего возраста и сеянцы березы повислой. В контрольном варианте высаживались сеянцы, выращенные в открытом грунте в производственных условиях питомника.

Опытные лесные культуры создавались сеянцами, выращенными с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия, на территории лесхозов: ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз» Косовское лесничество, ГЛХУ «Пружанский лесхоз» Зеленевицкое лесничество и ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» Драчковское лесничество.

В ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз» Косовское лесничество кв. 5 выд. 15 площадью 0,5 га создавались чистые культуры сосны обыкновенной составом $5C_y5C$, где C_y – сеянцы сосны обыкновенной (однолетки), выращенные с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия, время создания лесных культур – осень 2016 г., рельеф участка ровный, категория лесокультурной площади «б» – свежая вырубка, почва дерново-подзолистая супесчаная, на супеси рыхлой, обработка почвы бороздами, производили весной 2017 г. трактором МТЗ-1221 с плугом ПКЛ-70. Лесные культуры создавали вручную, используя меч Колесова. Схема посадки – $2,5 \times 0,7$ м. Густота лесных культур составила 5710 шт./га.

В кв. 3 выд. 14 площадью 0,5 га ГЛХУ «Пружанский лесхоз» Зеленевицкое лесничество создавались смешанные лесные культуры сосны обыкновенной (выращенные с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия) с липой мелколистной (сеянцы однолетки ЗКС) и березой повислой (сеянцы однолетки). Созданы они весной 2017 г., составом $7p.C_y2p.Lп1pБ$. Категория лесокультурной площади «б» – вырубка. Рельеф участка ровный, почва дерново-подзолистая супесчаная, на супеси связной. Обработку почвы производили бороздами весной 2017 г. трактором МТЗ-1221 с плугом ПКЛ-70. Лесные культуры создавали вручную, используя меч Колесова и лопату. Схема посадки – $2,5 \times 0,7$ м. Густота лесных культур составила 5710 шт./га.

В Драчковском лесничестве ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» кв. 12 выд. 11 площадью 0,5 га создавались чистые лесные культуры сосны обыкновенной различного посадочного материала: сеянцы однолетки, выращенные с применением комплексных минеральных удобре-

ний пролонгированного действия; сеянцы однолетки ЗКС и сеянцы однолетки производственные, созданы осенью 2016 г., составом $6p.C_y2p.C_{ЗКС}2p.C$. Категория лесокультурной площади «б» – вырубка. Рельеф участка ровный, почва дерново-подзолистая суглинистая, на суглинке легком. Обработку почвы производили бороздами осенью 2016 г. трактором МТЗ-1221 с плугом ПКЛ-70. Лесные культуры создавали вручную, используя меч Колесова и поттипутку. Схема посадки – $2,5 \times 0,7$ м. Густота лесных культур составила 5710 шт./га.

В ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» Драчковское лесничество кв. 12 выд. 11 площадью 0,5 га создавались чистые лесные культуры сосны обыкновенной различного посадочного материала: сеянцы однолетки, выращенные с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия; сеянцы однолетки ЗКС и сеянцы двухлетки, выращенные с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия, созданы весной 2017 г., составом $3p.C_{СН1y}3p.C_{СН2y}2p.C_{ЗКС}2C$. Также на данном участке создавалась производственная посадка лесных культур сеянцами двухлетками сосны обыкновенной. Категория лесокультурной площади «б» – вырубка. Рельеф участка ровный, почва дерново-подзолистая суглинистая, на суглинке легком. Обработку почвы производили бороздами весной 2017 г. трактором МТЗ-1221 с плугом ПКЛ-70. Лесные культуры создавали вручную, используя меч Колесова, поттипутку и лопату. Схема посадки – $2,5 \times 0,7$ м. Густота лесных культур составила 5710 шт./га.

Были измерены средние высоты и средние диаметры сеянцев при посадке лесных культур сосны обыкновенной. Измерялись также средние высоты и средние диаметры лесных культур в конце вегетации. Определялась приживаемость созданных лесных культур.

Результаты определения биометрических показателей созданных лесных культур сосны представлены в таблице.

При весенней и осенней посадке 2016 г. в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» прирост по высоте у сеянцев, выращенных при применении пролонгированного удобрения, в конце вегетации составил 5,3 см, а прирост по диаметру – 0,38 мм. Прирост по средней высоте на 34,4% выше, чем у сеянцев производственного варианта и на 16,5% – чем у сеянцев с ЗКС. Приживаемость лесных культур сосны обыкновенной в варианте с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия также наивысшая и составляет 94,2% по сравнению с сеянцами ЗКС – 93,6% и производственными сеянцами – 93,1%.

Биометрические показатели созданных лесных культур

Вариант опыта	H_{cp} , см	D_{cp} , мм	H_{cp} , см	D_{cp} , мм	Первоначальная густота, тыс. шт./га	Густота на момент обследования, тыс. шт./га	Приживаемость, %
	при посадке		в конце вегетации				
Смолевичский лесхоз Драчковское лесничество, осень 2016 г.							
C_y	11,2	2,36	16,5	2,74	3 426	3 227	94,2
$C_{ЗКС}$	10,4	2,12	13,6	2,56	1 142	1 069	93,6
$C_{контроль}$	8,5	2,02	9,6	2,15	1 142	1 063	93,1
<i>Итого</i>	–				5 710	5 359	–
Смолевичский лесхоз Драчковское лесничество, весна 2017 г.							
C_{CH1y}	12,5	2,41	18,3	3,02	1 713	1 641	95,8
$C_{ЗКС}$	10,8	2,24	12,7	2,42	1 142	1 083	94,8
$C_{контроль}$	8,9	2,12	10,1	2,26	1 142	1 069	93,6
C_{CH2y}	24,7	3,56	30,5	3,89	856	782	91,3
$C_{CH2контроль}$	16,5	2,89	24,3	3,56	857	760	88,7
<i>Итого</i>	–				5 710	5 335	–
Пружанский лесхоз Зеленевицкое лесничество, весна 2017 г.							
C_y	12,1	2,31	17,6	2,74	1 999	1 919	96,0
$C_{контроль}$	9,1	2,18	10,8	2,36	1 998	1 902	95,2
Лп	13,8	3,31	17,9	3,74	1 142	1 079	94,5
Б	36,5	6,53	52,5	7,12	571	531	93,0
<i>Итого</i>	–				5 710	5 431	–
Ивацевичский лесхоз Коссовское лесничество, весна 2017 г.							
C_y	11,9	2,25	16,5	2,43	2 855	2 690	94,2
$C_{контроль}$	8,3	2,06	10,2	2,27	2 855	2 660	93,2
<i>Итого</i>	–				5 710	5 350	–

Рассматривая вариант весенней посадки 2017 г. в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз», сохраняется такая же закономерность, как и при осенней посадке, сосна обыкновенная, выращенная с применением пролонгированных удобрений, также показывает наилучшие результаты: так, прирост по высоте в конце вегетации составил 5,8 см, а прирост по диаметру – 0,61 мм. Прирост по средней высоте у сеянцев, выращенных при применении пролонгированного удобрения, на 34,5% выше, чем у производственных сеянцев и на 5,7% – чем у сеянцев с ЗКС. Приживаемость лесных культур в данном варианте опыта составила 95,8% по сравнению с сеянцами ЗКС – 94,8% и производственными сеянцами – 93,6%. Приживаемость сеянцев сосны 2-летки, выращенных с применением комплексных минеральных удобрений, составила 91,3%, а приживаемость производственных сеянцев двухлеток – 88,7%. Также можно отметить, что при осенней посадке биометрические показатели и приживаемость лесных культур на уровне весенней.

В варианте ГЛХУ «Пружанский лесхоз» создавались смешанные лесные культуры. Биометрические показатели растений в конце вегетации следующие: прирост по высоте у сосны обыкновенной 5,5 см, прирост по диаметру составил 0,43 мм. Приживаемость лесных культур у сосны обыкновенной, выращенной с при-

менением комплексного минерального удобрения пролонгированного действия, составила 96,0%, у производственных сеянцев приживаемость 95,2%, приживаемость липы мелколистной составила 94,5%, а сеянцев березы повислой – 93,0%.

В ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз» создавались чистые лесные культуры сосны обыкновенной. В данном варианте сохраняется закономерность: биометрические показатели у сосны обыкновенной, выращенной с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия, также выше, чем у производственных сеянцев; так, прирост по высоте в конце вегетации составил 4,6 см, а прирост по диаметру – 0,18 мм. Прирост по средней высоте у сеянцев, выращенных при использовании пролонгированного удобрения, на 20,1% выше, чем у производственных сеянцев. Приживаемость созданных лесных культур, выращенных с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия, составила 94,2%, а приживаемость производственных культур – 93,2%.

Заключение. Весь опытный и производственный посадочный материал превышал нормативы стандартного посадочного материала как по высоте, так и по диаметру. Применение комплексного минерального удобрения «Осмокот 6М» позволяет выращивать в открытом

грунте посадочный материал сосны обыкновенной с биометрическими показателями, превышающими показатели стандартных семян по высоте на 25%, по диаметру – на 20%.

Наилучшие результаты в конце вегетации наблюдались во всех лесхозах в варианте посадки семян сосны обыкновенной, выращенной с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия. Средний прирост по высоте у семян, выращенных с использованием комплексного минерального удобрения пролонгированного действия, превышал в среднем на 20% посадки производст-

венного варианта и был достигнут во всех вариантах опытов.

Подводя итоги всего вышесказанного, можно отметить, что при использовании пролонгированного минерального удобрения при выращивании семян сосны обыкновенной в открытом грунте наблюдается увеличение прироста по высоте и по диаметру лесных культур в конце вегетации и увеличивается приживаемость созданных лесных культур по сравнению с производственными опытами на 3–5%, также можно рекомендовать осеннюю посадку как альтернативу весенней.

Литература

1. Справочник по применению удобрений в лесном хозяйстве / В. С. Победов [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1977. 184 с.
2. Юреня А. В. Методика отбора среднего образца при анализе кислотности и гумуса в дерново-подзолистых почвах // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 221–222.
3. Соколовский И. В., Домасевич А. А., Юреня А. В. Практикум по почвоведению с основами земледелия. Минск: БГТУ, 2016. 184 с.
4. Туева О. Ф. Фосфор в питании растений. М.: Наука, 1966. 296 с.
5. Авдонин Н. С. Агрохимия М.: Изд-во Москов. ун-та, 1982. 344 с.
6. Роде А. А., Смирнов В. Н. Почвоведение. М.: Высш. шк., 1972. 480 с.
7. Иванов С. Н. Почвенные условия и применение удобрений. Минск: Урожай, 1968. 263 с.
8. Новосельцева А. И., Смирнов Н. А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесная пром-сть, 1983. 280 с.
9. Штефан В. К. Жизнь растений и удобрения. М.: Московский рабочий, 1981 г. 240 с.
10. Артющин А. М., Державин Л. М. Краткий словарь по удобрениям. 2-е изд. М.: Колос, 1984 г. 208 с.
11. Основы земледелия и растениеводства. 3-е изд. / под ред. В. С. Никляева. М.: Былина, 1990. 512 с.
12. Кальной П. Г. Система применения удобрений в питомниках. Лесохозяйственная информация. ЦБНТИлесхоз. М., 1974. С. 32–37.
13. Редько Г. И. Лесные культуры. Лесные питомники. Л.: ЛТА, 1976. 66 с.
14. Родин А. Р., Грибков В. В., Никитина А. В. Оптимальные соотношения надземной биомассы посадочного материала и корневых систем хвойных пород // Лесохозяйственная информация. 1974. № 15. С. 13–14.
15. Слухай С. И. Питание и удобрение молодых древесных растений. Киев: Наукова думка, 1965. 301 с.

References

1. Pobedov V. S., Schimanckiy P. S., Volchkov V. E., Prokochin D. N. *Spravochnik po primeneniyu udobreniy v lesnom khozyaystve* [Guide to the use of fertilizers in forestry]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 184 p.
2. Yurenya A. V. Technique of selection medium sample in the analysis of acidity and humus in the sod-podzolic soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 221–222 (In Russian).
3. 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.
4. Tueva O. F. *Fosfor v pitanii rasteniy* [Phosphorus in plant nutrition]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 296 p.
5. Avdonin N. S. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta Publ., 1982. 344 p.
6. Rode A. A., Smirnov V. N. *Pochvovedeniye* [Science Soil]. Moscow, Vyssh. shk., 1972. 480 p.
7. Ivanov S. N. *Pochvennyye usloviya i primeneniye udobreniy* [Soil conditions and the use of fertilizers]. Minsk, Urozhay Publ., 1968. 263 p.
8. Novosel'tseva A. I., Smirnov N. A. *Spravochnik po lesnym pitomnikam* [Guide to forest nurseries]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 280 p.

9. Shtefan V. K. *Zhizn' rasteniy i udobreniya* [Life of plants and fertilizers]. Moscow, Moskovskiy rabochiy Publ., 1981. 240 p.
10. Artuchin A. M., Derzhavin L. M. *Kratkiy slovar' po udobreniyam* [Brief Dictionary on Fertilizers]. Moscow, Kolos Publ., 1984. 208 p.
11. Niklyaew V. S. *Osnovy zemledeliya i rastenievodstva* [Fundamentals of Agriculture and Plant Growing]. Moscow, Bylina Publ., 1990. 512 p.
12. Kal'noy P. G. System of application of fertilizers in nurseries. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya TsBNTIleskhoz* [Forestry information. CBNTI Forestry], 1974, pp. 32–37 (In Russian).
13. Red'ko G. I. *Lesnyye kul'tury. Lesnyye pitomniki* [Forest cultures. Forest nurseries]. Leningrad, LTA Publ., 1976. 66 p.
14. Rodin A. R., Gribkov V. V., Nikitina A. V. Optimum ratios of aboveground biomass of planting material and root systems of coniferous species. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 1974, no. 15, pp. 13–14 (In Russian).
15. Slukhay S. I. *Pitaniye i udobreniye molodykh drevesnykh rasteniy* [Nutrition and fertilization of young woody plants]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1965. 301 p.

Информация об авторах

Романчук Александр Валерьевич – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexanderromanchuk1992@yandex.ru

Юрениа Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: urenua@belstu.by

Information about the authors

Romanchuk Aleksandr Valer'yevich – PhD student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Alexanderromanchuk1992@yandex.ru

Yurenua Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urenua@belstu.by

Поступила 30.03.2018

УДК 633.527.7

О. А. Селищева, Ю. А. Ларинина, А. В. Хвасько, В. В. Носников
Белорусский государственный технологический университет

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕРЕВЬЕВ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ РАЗНЫХ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ

Липа мелколистная широко используется как при озеленении городов, так и при производстве лесных культур. Насаждения, созданные с липой мелколистной, отличаются высокой продуктивностью, устойчивостью к неблагоприятным факторам и качеством выращиваемой древесины. Липа мелколистная относится к группе пород, имеющих семена с длительным периодом прорастания, поэтому при заготовке лесосеменного сырья необходимо учитывать не только сроки сбора, но и качество семян. Древесина липы мелколистной отличается однородностью, легкостью обработки, мягкостью, поэтому ее широко используют не только в народном хозяйстве (при изготовлении деревянной посуды, мебели, музыкальных инструментов), но и в строительстве (в круглом виде, для выработки пиломатериалов и заготовок общего назначения). Данная древесная порода имеет раннюю и позднюю формы. В связи с этим целью нашей работы было изучение качества семян и некоторых физико-механических свойств древесины (плотность, предел прочности при сжатии вдоль волокон, предел прочности при статическом изгибе, статическая твердость) липы разных фенологических форм. Результаты проведенных исследований показали, что лучшими посевными качествами обладают семена, собранные с поздней формы липы мелколистной; древесина поздней формы имеет большую среднюю ширину годичных слоев, а древесина ранней формы более твердая, плотная, имеет большие показатели предела прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе.

Ключевые слова: липа мелколистная, фенологическая форма, семена, древесина, влажность, годичный слой, физико-механические свойства.

O. A. Selishcheva, Yu. A. Larinina, A. V. Khvas'ko, V. V. Nosnikov
Belarusian State Technological University

PROPERTIES LINDEN DIFFERENT PHENOLOGICAL FORMS OF THE TREE

The small-leaved linden is widely used in the landscaping of cities, and the production of forest crops. Plantings created by small-leaved linden, have high productivity, resistance to unfavorable factors and the quality of cultivated wood. Small-leaved linden belongs to the group of species having seeds with a long germination period, so if the harvesting of forest raw materials must consider not only the time of collection, but the quality of the seeds. The wood of linden is uniformity, ease of processing, softness, so it is widely used not only in the national economy (in the manufacture of wooden utensils, furniture, musical instruments), but also in construction (in the round, for the production of lumber and blanks general purpose). This tree species has early and late forms. In this regard, the aim of our work was to study the seed quality and some physico-mechanical properties of wood (density, tensile strength under compression along the fibers, the ultimate strength in static bending, static hardness) linden different phenological forms. The results of the conducted researches have shown that the seeds collected from the late form of small-leaved Linden possess the best sowing qualities; wood late shape has a greater average width of the annual layers, and wood early forms are more solid, dense, has great tensile strengths in compression along the grain and static bending.

Key words: small-leaved linden, phenological form, seeds, wood, humidity, year layer, physical and mechanical properties.

Введение. В последнее время большое внимание уделяется воспроизводству лесных культур с участием липы мелколистной. Чистые насаждения создаются при формировании хозяйственно целевых нектароносных древостоев, в парках общего пользования, городских лесах, где в максимальной степени могут проявиться декоративно-эстетические и нектаропродуктивные свойства липы. В смешанных насаждениях данная порода обладает большим лесоводственным потенциалом – выступая в

качестве подгона, способствует росту и развитию главной породы за счет скорейшего разложения листового опада и снижения кислотности лесной подстилки, очищаемости стволов от сучьев, в результате чего увеличивается общая продуктивность насаждения и качество выращиваемой древесины. Объемы создания насаждений искусственного происхождения сдерживаются недостатком посадочного материала, получение которого во многом зависит от сроков сбора и высева семян липы.

Липа мелколистная – безъядровая, заболонная, рассеянно-сосудистая порода. Древесина белая, с легким розоватым или красноватым оттенком, имеет равномерную окраску по всему сечению ствола. По данным В. Е. Вихрова [1], древесина липы легкая (объемный вес менее $0,5 \text{ г/см}^3$), значительно усыхающая (полная объемная усушка составляет 18–22%, коэффициент объемной усушки – 0,56–0,65), малопрочная (значение предела прочности при сжатии вдоль волокон составляет в среднем менее 350 кг/см^2), очень мягкая (статическая твердость в торце менее 200 кг/см^2), умеренно хрупкая (сопротивление ударному изгибу – $0,15\text{--}0,30 \text{ кгм/см}^3$).

Согласно данным, приведенным Б. Н. Уголевым [2], В. Г. Атрохиным, К. К. Калущим, Ф. Т. Тюриковым [3], липа принадлежит к породам среднеусыхающим (коэффициент объемной усушки в пределах 0,46–0,55), малой плотности (при влажности 12% плотность составляет 495 кг/м^3 , в абсолютно сухом состоянии – 470 кг/м^3 , условная плотность – $400\text{--}410 \text{ кг/м}^3$).

Исследования свойств древесины липы, проведенные в последние годы, показали, что коэффициент усушки в радиальном направлении составляет 0,23, в тангенциальном – 0,33; объемный – 0,58. Влажность древесины свежесрубленного дерева колеблется от 60 до 80% [4]. Предел прочности при растяжении вдоль волокон при влажности 12% и 30,0% и более составляет 117 МПа и 89 МПа, при сжатии вдоль волокон – 46,0 и 24,0 МПа, при статическом изгибе – 86,0 МПа и 53,0 МПа, при скалывании в радиальной плоскости – 8,4 и 5,5 МПа, тангенциальной плоскости – 8,0 и 4,9 МПа соответственно [2].

Из-за легкости обработки древесину липы широко используют во многих странах для изготовления мебели, рисовальных столов и чертежных досок, музыкальных инструментов, моделей в литейном деле, деревянной посуды, карандашей, бочек, фанеры, резных изделий и игрушек, лаптей [5, 6].

В Беларуси согласно СТБ 1712-2007 [7], лесоматериалы из липы применяются в круглом виде для строительства, а также вспомогательных и временных построек различного назначения, выработки пиломатериалов и заготовок общего назначения, клепки заливных бочек, сухотарных бочек и деталей ящиков, протезов, получения строганого и лущеного шпона, производства спичек, сульфатной небеленой целлюлозы.

Известно, что липа мелколистная имеет ранние и поздние формы, различающиеся по срокам распускания почек и цветения [8], по

этому целью нашей работы было изучение качества семян и некоторых физико-механических свойств древесины (плотность, прочность при сжатии вдоль волокон, прочность при статическом изгибе, твердость и др.) липы разных фенологических форм.

Основная часть. В результате проведенных нами предварительных фенологических наблюдений установлено, что липа мелколистная имеет раннюю и позднюю формы, которые различаются по срокам распускания почек (5–7 дней), цветения (5–8 дней), созревания семян (6–8 дней).

Для анализа морфологических характеристик и показателей качества семян липы собирали плоды с деревьев разных фенологических форм. Среднюю длину и ширину семени определяли с помощью цифрового штангенциркуля ШЦЦ-150 с точностью до сотых (измерения проводили в мм), жизнеспособность и массу 1000 шт. – в соответствии с ГОСТ 13056.7-93, ГОСТ 13056.4-67 соответственно [9, 10].

Материал для исследования физико-механических свойств древесины липы мелколистной заготавливали в соответствии с ГОСТ 16483.6-80 [11]. Из комлевой части отобранных деревьев липы ранней и поздней форм были взяты кряжи длиной 1,5 м. Кряжи распиливались на доски, затем из досок изготавливались бруски, которые непосредственно использовались для получения образцов определенной формы и размеров.

Определение показателей физико-механических свойств древесины выполнялось согласно действующим стандартным методикам [12–15]. Испытания древесины на механические свойства проводились на испытательной машине MTS Insight 100. Вывод данных и их первичная обработка выполнялись в программе Test Works 4, впоследствии в программе Microsoft Excel, в том числе и статистически на 5%-ном уровне значимости. Полученные физико-механические показатели приводились к влажности 12%.

Результаты анализа семян и физико-механических свойств древесины в зависимости от фенологической формы дерева приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2.

В результате проведенных нами исследований установлено, что средняя длина семян у ранней формы за анализируемый период составила 6,49 мм, ширина – 4,60 мм, у поздней формы – 6,57 мм и 5,12 мм соответственно. Семена, собранные с поздней формы, имеют большие показатели массы 1000 шт. (на 4–6 г) и жизнеспособности (на 2–4%).

Таблица 1

Анализ морфологических характеристик и показателей качества семян (сбор в конце сентября)

Год учета	Средняя длина семени, мм			$t_{факт} / t_{теор}$	Средняя ширина семени, мм			$t_{факт} / t_{теор}$	Жизнеспособность, %	Масса 1000 шт., г
	среднее значение ± стандартная ошибка	уровень надежности, %	коэффициент вариации, %		среднее значение, стандартная ошибка	уровень надежности, %	коэффициент вариации, %			
Ранняя фенологическая форма дерева										
2015	6,36 ± 0,08	0,17	10,51	1,06 / 1,98	4,33 ± 0,08	0,15	14,26	5,97 / 1,98	82,1	41,29
2016	6,64 ± 0,18	0,39	10,70	0,20 / 2,13	4,35 ± 0,17	0,37	15,17	2,92 / 2,12	77,8	39,13
2017	6,46 ± 0,05	0,10	7,80	0,37 / 2,05	5,13 ± 0,04	0,08	7,92	0,96 / 2,03	76,4	36,95
Поздняя фенологическая форма дерева										
2015	6,49 ± 0,09	0,17	11,54	–	5,01 ± 0,08	0,17	14,57	–	86,4	47,42
2016	6,71 ± 0,31	0,70	14,3	–	5,30 ± 0,17	0,62	16,36	–	81,9	43,35
2017	6,52 ± 0,15	0,32	11,85	–	5,04 ± 0,08	0,17	8,26	–	78,1	40,15

Таблица 2

Основные физико-механические показатели древесины липы мелколистной разных фенологических форм

Вид испытания		Фенологическая форма дерева	
		ранняя	поздняя
Средняя ширина годичного слоя, мм	среднее значение ± стандартная ошибка	4,22 ± 0,19	4,76 ± 0,21
	уровень надежности, %	0,38	0,42
	коэффициент вариации, %	30,27	27,42
	$t_{факт}$	1,95	
	$t_{теор}$	1,99	
Процент поздней древесины от общего годичного слоя	среднее значение ± стандартная ошибка	22,14 ± 1,21	22,73 ± 1,36
	уровень надежности, %	2,46	2,79
	коэффициент вариации, %	32,39	32,28
	$t_{факт}$	0,32	
	$t_{теор}$	2,00	
Плотность, кг/м ³	среднее значение ± стандартная ошибка	537,01 ± 2,56	462,32 ± 10,39
	уровень надежности, %	5,09	21,49
	коэффициент вариации, %	4,50	11,01
	$t_{факт}$	6,98	
	$t_{теор}$	2,06	
Предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон, МПа	среднее значение ± стандартная ошибка	34,78 ± 0,40	27,55 ± 1,43
	уровень надежности, %	0,80	3,06
	коэффициент вариации, %	10,88	20,83
	$t_{факт}$	4,86	
	$t_{теор}$	2,11	
Предел прочности древесины при статическом изгибе, МПа	среднее значение ± стандартная ошибка	64,23 ± 0,80	62,03 ± 2,44
	уровень надежности, %	1,60	5,13
	коэффициент вариации, %	8,76	17,16
	$t_{факт}$	0,86	
	$t_{теор}$	2,07	
Статическая твердость, МПа	среднее значение ± стандартная ошибка	33,68 ± 2,00	30,47 ± 1,36
	уровень надежности, %	4,16	2,91
	коэффициент вариации, %	27,16	17,24
	$t_{факт}$	1,33	
	$t_{теор}$	2,03	

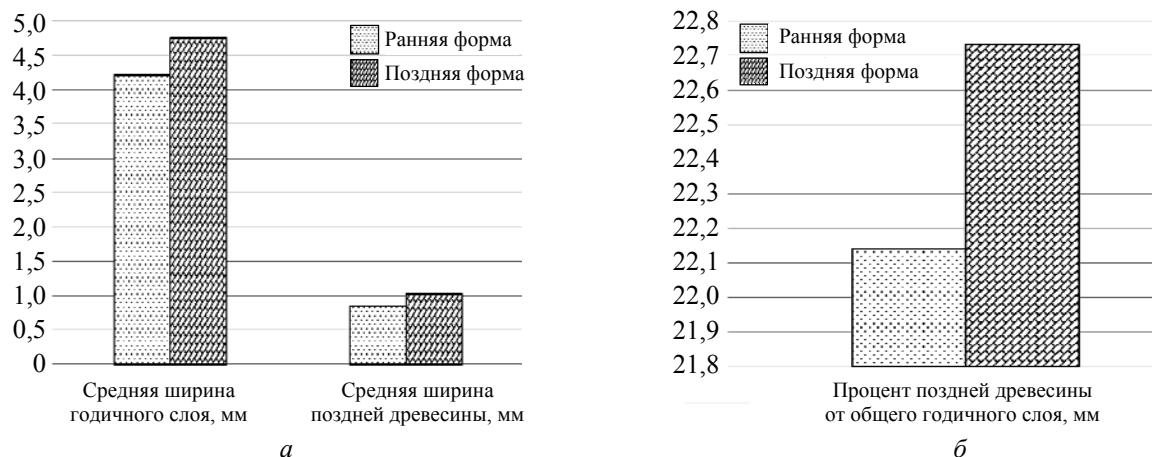


Рис. 1. Особенности строения годовичных слоев липы мелколистной:

а – средняя ширина годовичного слоя и поздней древесины;

б – процент поздней древесины от общего слоя

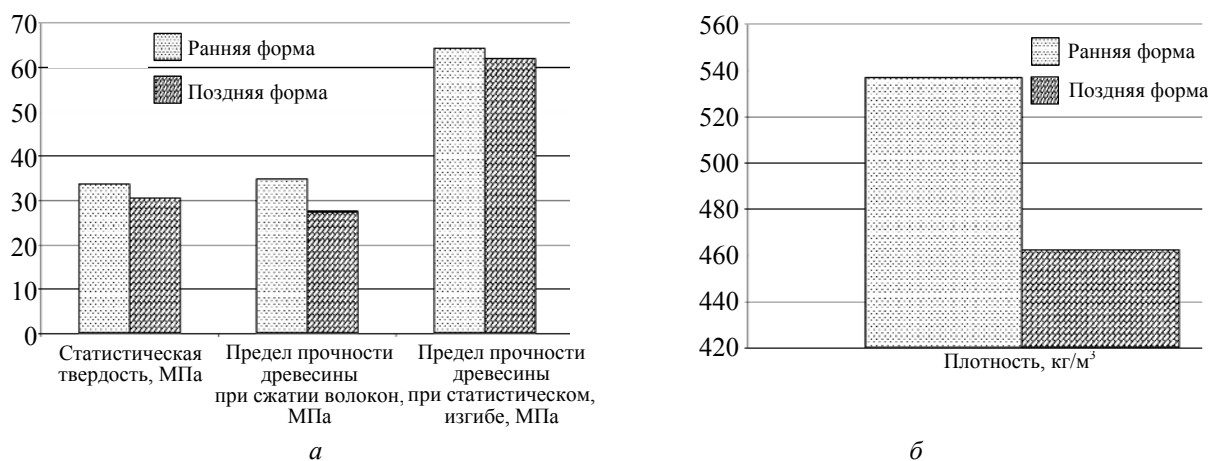


Рис. 2. Показатели свойств древесины ранней и поздней фенологической форм липы мелколистной:

а – механических; б – физических

Средний коэффициент вариации в пределах каждой группы (в зависимости от года сбора (2015, 2016 и 2017 гг.) и фенологической формы дерева липы мелколистной (ранняя и поздняя)) при определении средней длины орешка – 11,03%, 12,62% и 9,83%, средней ширины – 14,37%, 15,77% и 8,09% соответственно, что говорит о средней степени варьирования данных.

Рассчитанный критерий существенности разности показал, что различия в значениях средней длины орешка липы лежат в пределах случайных колебаний при принятом уровне значимости ($t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$), а в значениях средней ширины – достоверно значимы ($t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$) (за исключением 2017 г.).

Среднее значение ширины годовичных слоев составило 4,22 мм (у ранней формы) и 4,76 мм (у поздней формы), в том числе ширина поздней древесины – 0,85 мм и 1,02 мм соответственно. Необходимо отметить, что годовичные слои на всех разрезах в независимости от фенологической формы дерева заметны слабо.

Среднее число годовичных слоев на 1 см поперечного разреза для ранней формы липы мелколистной – 2,37, поздней – 2,10.

У разных фенологических форм липы наблюдаются существенные различия в значениях плотности. Плотность древесины ранней формы, по нашим данным, составила 537,01 кг/м³, поздней – 462,32 кг/м³, среднее значение плотности – 499,67 кг/м³. Полученные результаты в целом согласуются с литературными данными [2], по которым средняя плотность древесины при влажности 12% составляет 495 кг/м³. Плотность древесины ранней формы на 8,5% больше, а поздней – на 6,6% меньше среднего показателя. Следует отметить, что древесина ранней формы более плотная, чем поздней.

Среднее значение предела прочности при сжатии вдоль волокон (влажность 12,0%) для липы мелколистной составляет 46,0 МПа [2]. В результате наших исследований установлено, что предел прочности древесины ранней

формы составил 34,78 МПа, поздней – 27,55 МПа, а это ниже среднего показателя на 24,4% и 40,1% соответственно. При этом прочность древесины ранней формы липы на 26,2% выше, чем поздней.

Наблюдаются различия при определении предела прочности древесины при статическом изгибе. Данный показатель у ранней формы составил 64,23 МПа, у поздней – 62,03 МПа, что меньше среднего показателя, приведенного в литературе (86,0 МПа при влажности 12,0% [2]) на 25,3 и 27,9% соответственно. Однако четкой разницы между фенологическими формами в данном показателе не установлено. Необходимо отметить, что при изгибе образца наблюдался зацепистый вид излома.

Статическая твердость липы мелколистной ранней формы составила 33,68 МПа, поздней – 30,47 МПа. Следовательно, древесина обеих форм дерева мягкая (что подтверждается литературными данными [2]), но ранняя форма липы мелколистной имеет более твердую древесину, чем поздняя форма.

Коэффициент вариации в пределах каждой группы (в зависимости от фенологической формы дерева – ранняя и поздняя) при определении плотности древесины – 4,50 и 11,0%, предела прочности при сжатии вдоль волокон – 10,9 и 20,8%, предела прочности при статическом изгибе – 8,8 и 17,2%, статической твердости – 27,2 и 17,2% соответственно, что говорит о средней степени варьирования данных. При определении средней ширины годичных слоев и доли поздней древесины коэффициент вариации больше 25%, что означает более значительное варьирование данных показателей. Точность определения данных практически во

всех случаях ниже 5% и является весьма высокой.

Рассчитанный критерий существенности разности показал, что различия в значениях средней ширины годичного слоя, процента поздней древесины, предела прочности при статическом изгибе, статической твердости статистически недостоверны и лежат в пределах случайных колебаний при принятом уровне значимости ($t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$). Во всех остальных случаях установленные различия между физико-механическими показателями древесины ранней и поздней форм деревьев липы мелколистной достоверно значимы ($t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$).

Заключение. Таким образом, средняя длина у плодов ранней фенологической формы липы мелколистной составляет 6,49 мм, ширина – 4,60 мм; поздней – 6,57 мм и 5,12 мм соответственно. Семена, собранные с поздней формы, имеют большие показатели массы 1000 шт. (на 4–6 г) и жизнеспособности (на 2–4%).

Существенные различия в определении физико-механических показателей древесины между ранней и поздней формами липы мелколистной заметны при определении средней ширины годичных слоев (4,22 и 4,76 мм соответственно), плотности (537,01 кг/м³ и 462,32 кг/м³ соответственно) и предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон (34,78 МПа и 27,55 МПа соответственно). В целом прослеживается, что древесина ранней формы более твердая, плотная, имеет большие показатели предела прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе. Соответственно, в народном хозяйстве и строительстве предпочтение необходимо отдавать древесине ранних форм деревьев липы мелколистной.

Литература

1. Вихров В. Е. Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 132 с.
2. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 351 с.
3. Древесные породы мира: в 3 т. / под ред. Г. И. Воробьева. М.: Лесная промышленность, 1979–1982. – Т. 3: Древесные породы СССР / В. Г. Атрохин, К. К. Калуцкий, Ф. Т. Тюриков. 1982. 266 с.
4. Чернышев А. Н., Ефимова Т. В. Физико-механические показатели и режимы сушки древесины липы без искусственного увлажнения // Лесотехнический журнал. 2014. № 4. С. 140–146.
5. Липа [Электронный ресурс] / Woodrow, 2014. URL: <http://richwood.ru/pages189.html> (дата обращения: 04.09.2017).
6. Различные виды древесины [Электронный ресурс] / drevesinas.ru, 2017. URL: <http://www.drevesinas.ru/protection/structure/20.html> (дата обращения: 04.09.2017).
7. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия: СТБ 1712-2007. Введ. 01.05.07 с доп. 01.01.14 (утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Респ. Беларусь от 30 января 2007 г. № 4). Минск: УП «Белгипролес», 2007. 26 с.
8. Рысин Л. П. Липовые леса Русской равнины. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 195 с.
9. Семена деревьев и кустарников. Методы определения жизнеспособности: ГОСТ 13056.7-93. Взамен ГОСТ 13056.7-68. Введ. СССР 01.01.95. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1995. 37 с.

10. Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян: ГОСТ 13056.4-67. Взамен ГОСТ 2937-55. Введ. СССР 01.07.68. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1988. 3 с.
11. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кражей для определения физико-механических свойств древесины насаждений: ГОСТ 16483.6-80. Взамен ГОСТ 16483.6-80. Введ. СССР 01.01.81. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1986. 7 с.
12. Древесина. Методы определения влажности: ГОСТ 16483.7-71. Взамен ГОСТ 11486-65. Введ. СССР 01.01.73. М.: Стандартиформ, 2006. 3 с.
13. Древесина. Метод определения предела прочности при сжатии вдоль волокон: ГОСТ 16483.10-73. Взамен ГОСТ 16483.10-72. Введ. СССР 01.07.74. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. 6 с.
14. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе: ГОСТ 16483.3-84. Введ. 01.07.85. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. 6 с.
15. Древесина. Метод определения статической твердости: ГОСТ 16483.17-81. Введ. 01.01.83. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. 6 с.

References

1. Vikhrov V. E. *Diagnosticicheskiye priznaki drevesiny glavneyshikh lesokhozyaystvennykh i lesopromyshlennykh porod SSSR* [Diagnostic features of the wood the main forestry and forest species of the USSR]. Moscow, AN SSSR Publ., 1959. 132 p.
2. Ugolev B. N. *Drevesinovedeniye i lesnoye tovarovedeniye* [Drivelinemedi and forest merchandising]. Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2007. 351 p.
3. Atrokhin V. G., Kalutskiy K. K., Tyurikov F. T. *Drevesnyye porody mira* [Timbers of the world]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 266 p.
4. Chernyshev A. N., Efimova T. V. Physico-mechanical properties and drying modes of Linden wood without artificial humidification. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry engineering journal], 2014, no. 4, pp.140–146 (In Russian).
5. *Lipa* [Linden]. Available at: <http://richwood.ru/pages189.html>. (accessed 04.09.2017).
6. *Razlichnyye vidy drevesiny* [Different types of wood]. Available at: <http://www.drevesinas.ru/protection/structure/20.html> (accessed 04.09.2017).
7. STB 1712-2007. Round timber of deciduous breeds. Specifications. Minsk, Belgiproles Publ., 2007. 26 p. (In Russian).
8. Rysin L. P. *Lipovyye lesa Russkoy ravniny* [Linden forests of the Russian plain]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2012. 195 p.
9. GOST 13056.7-93. Seeds of trees and shrubs. Methods for determining viability. Moscow, IPK Publishing house of standards Publ., 1995. 37 p. (In Russian).
10. GOST 13056.4-67. Seeds of trees and shrubs. Methods of determination of mass of 1000 seeds. Moscow, IPK Publishing house of standards Publ., 1988. 3 p. (In Russian).
11. GOST 16483.6-80. Wood. The method of selection of model trees and logs for determination of physical and mechanical properties of wood plantations. Moscow, IPK Publishing house of standards Publ., 1986. 7 p. (In Russian).
12. GOST 16483.7-71. Wood. Methods for determination of moisture. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 3 p. (In Russian).
13. GOST 16483.10-73. Wood. Method of determining ultimate strength in compression along fibres. Moscow, IPK Publishing house of standards Publ., 1999. 6 p. (In Russian).
14. GOST 16483.3-84. Wood. Method of determining ultimate strength in static bending. Moscow, IPK Publishing house of standards Publ., 1999. 6 p. (In Russian).
15. GOST 16483.17-81. Wood. Method for determination of static hardness. Moscow, IPK Publishing house of standards Publ., 1999. 6 p. (In Russian).

Информация об авторах

Селищева Оксана Александровна – младший научный сотрудник кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Ларинина Юлия Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lesya25106@mail.ru

Хвасько Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Khvasko@belstu.by

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

Information about the authors

Selishcheva Oksana Aleksandrovna – Junior Researcher, 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

Larinina Yuliya Aleksandrovna – PhD (Agriculture), assistant lecturer, the Department of Forest. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lesya25106@mail.ru

Khvas'ko Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Khvasko@belstu.by

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

Поступила 31.03.2018

УДК 630*238

С. С. Штукин

Белорусский государственный технологический университет

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫРУБОК УСЫХАЮЩИХ ЕЛЬНИКОВ

В последние десятилетия в Беларуси и в соседних странах наблюдается периодическое массовое усыхание хвойных лесов, и в первую очередь насаждений ели европейской. Для решения этой проблемы предлагается несколько путей восстановления вырубок усыхающих ельников. Одним из них может быть развитие плантационного лесовыращивания, которое позволяет за счет снижения возраста главной рубки древостоев до 35–40 лет вырастить 300–350 м³/га ценной балансовой древесины и тем самым в значительной степени упредить массовое усыхание ельников. Важным аргументом в пользу создания лесных плантаций на месте вырубок усыхающих ельников является то, что если в будущем их усыхание прекратится, лесные плантации можно будет легко переориентировать на выращивание крупной древесины (пиловочника). Для ели уменьшение возраста рубки главного пользования особенно важно, так как с возрастом эта порода в значительной степени подвержена стволовой и корневой гнили. Следовательно, снижение возраста главной рубки древостоев на лесных плантациях может способствовать уменьшению потерь древесины от этих болезней.

Заслуживает внимания борьба с последствиями деградации ельников также путем замены их в соответствующих лесорастительных условиях лиственницей европейской и в особенности ее подвидом – лиственницей польской, которая обладает ценными экологическими свойствами. Создание на месте вырубленных усыхающих ельников насаждений лиственницы европейской (польской) можно считать мероприятием, выполняемым в духе Парижских соглашений по стабилизации климата.

Важнейшим лесоводственным приемом по решению проблемы усыхающих ельников должны оставаться применяемые в лесоводственной практике выборочные и сплошные санитарные рубки, которые при своевременном проведении позволяют снизить потери древесины в очагах усыхания ели и формированием на их месте смешанных по составу насаждений. Минимизация последствий массового усыхания ели европейской обеспечивается проведением комплекса организационно-технических, лесохозяйственных мероприятий, осуществляемых с учетом закономерностей усыхания этого вида.

Ключевые слова: усыхание ели, лесные плантации, лесные культуры, лиственница польская, смешение видов, санитарные рубки.

S. S. Shtukin

Belarusian State Technological University

FOREST-BUILDING OF FISHING ELEMENTS

In recent decades in Belarus and in neighboring countries there has been a periodic mass drying of coniferous forests and, first of all, plantings of European spruce. To solve this problem, there are several ways to restore felling of shrinking spruce forests. One can be the development of plantation forest growth, which, due to the reduction in the age of the main felling of stands, till 35–40 years, grow 300–350 m³ / ha of valuable pulpwood and, thus, largely prevent the mass drying of spruce forests. An important argument in favor of the creation of forest plantations at the felling site of shrinking spruce forests is that if in the future their desiccation ceases, the forest plantations can easily be reoriented to growing large timber (sawlogs). For spruce, the reduction in the age of felling for main use is especially important, since with age this breed is highly susceptible to stem and root rot. Consequently, a decrease in the age of the main felling of stands on forest plantations can help reduce the loss of wood from these diseases.

Worthy of attention is the struggle with the consequences of the spruce forest degradation also by replacing them in the appropriate forest-growing conditions with European larch and, in particular, by its subspecies of Polish larch, which has valuable ecological properties. The creation of the European larch (Polish) plantations on the site of the cut down spruce stands can be considered an activity carried out in the spirit of the Paris agreements on stabilization of the climate.

The most important silvicultural method for solving the problem of shrinking spruce forests should be selective and continuous sanitary felling, applied in silvicultural practice, which, if carried out in a timely manner, can reduce the loss of timber in the fir tree shrinking habitats and the formation of mixed plantations in their place. Minimization of the consequences of the mass drying of European spruce is ensured by the implementation of a complex of organizational, technical, and forestry measures, taking into account the patterns of drying of this species.

Key words: shrinking spruce, forest plantations, forest cultures, Polish larch, mixing of species, sanitary felling.

Введение. В последние десятилетия лесоводы Беларуси и соседних стран озабочены проблемой массового усыхания лесов. Существует мнение, что хвойные леса, и в первую очередь насаждения ели европейской, не выдерживают усиливающейся антропогенной нагрузки и изменения климата, в результате чего и наблюдается их периодическое массовое усыхание [1]. Приводятся данные, что условия для ареала произрастания ели за последние 100 лет в России сместились к северу на 300 км, а к 2050 г. это смещение увеличится до 400–500 км. Данный факт требует активизации деятельности лесоводов и ученых по поиску методов лесовосстановления вырубок на месте усыхающих ельников с целью повышения устойчивости формируемых для будущих поколений лесных фитоценозов.

Основная часть. Известно, что за последние несколько десятилетий подход к оценке качества лесных экосистем мировым лесным сообществом существенно изменился. Леса оцениваются не только как источник различных материальных ресурсов, но и с позиции выполнения ими экологических функций [2–4]. В данном аспекте существенную роль играет биологическая устойчивость насаждений против различных факторов внешней среды. По В. Г. Стороженко [5], под устойчивым лесным биоценозом следует понимать сообщество растений, животных, микроорганизмов, которое по числу видов, разнообразию и полноте трофических связей, сложности структурного строения и соответствии климатическим, геоморфологическим и почвенным условиям экотопа сохраняет флуктуирующее постоянство состава организмов и энергетического баланса, а также постоянство восстановительных и деструктивных процессов в течение как минимум нескольких поколений или как угодно долго. При этом в естественных условиях состав и структура лесного биогеоценоза оптимизируются в соответствии с эволюционными законами. Однако в результате усиления возможно негативного антропогенного воздействия на лесные экосистемы происходит интенсивное нарушение постоянства этого состава организмов еловых биоценозов, снижение их продуктивности и биологической устойчивости. По нашему мнению, одним из способов решения проблемы восстановления вырубок усыхающих ельников может быть плантационное лесоводство. Заготовка спелого леса как простое «собираательство древесины в остающихся лесах», по выражению И. В. Шутова, уже не может удовлетворить потребности человека [2]. Плантационное лесоводство позволяет ослабить давление лесозаготовок на естественные леса. Известно, что молодому организму свойственна повышенная пластичность, а следовательно, и

лучшая приспособляемость к ухудшению условий внешней среды [6–8]. Поэтому экономически обоснованное снижение возраста рубки главного пользования ели при плантационном лесоводстве, ориентированном на ускоренное выращивание балансовой древесины этой породы в возрасте приближающейся количественной спелости древостоев, может значительно не только снизить потери от усыхания ели, но и ухудшить кормовую базу короедов и других вредителей.

Ранее полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют о том, что средний диаметр древостоев на лесных плантациях ели уже к 30–40 годам может достигать 20–22 см, что является вполне приемлемым для заготовки балансов. Запас же лесных плантаций ели в оптимальных лесорастительных условиях, особенно на старопахотных почвах, в этом возрасте достигает 300–350 м³ древесины с 1 га [9]. Поэтому плантационный метод выращивания леса востребован лесохозяйственным производством и в лесхозах, примыкающих к Шкловскому комбинату по производству газетной бумаги, и Светлогорскому ЦКК, где уже довольно продолжительное время создаются лесные плантации хвойных пород с целью улучшения лесосырьевой базы этих предприятий. Для этого же на основе многолетних и широкоплановых экспериментов недавно закончена разработка технического нормативно-правового акта – государственного стандарта Республики Беларусь (СТБ 2015-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания»). Этот ТНПА разработан ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси» и УО «Белорусский государственный технологический университет» в рамках задания 2.3 «Разработать и внедрить технологии создания и выращивания устойчивых высокопродуктивных плантаций древесных пород и стратегию плантационного лесовыращивания в Республике Беларусь», ГНТП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование». Документ утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь. В нем изложены наиболее современные требования к технологическим процессам создания и выращивания лесных плантаций сосны и ели, ориентированных на получение не только балансовой, но и крупной древесины (пиловочника). Является нормативно-правовым документом нового уровня развития плантационного лесоводства в Беларуси.

Обследование наших опытных лесных плантаций ели европейской в Глубокском опытном лесхозе и на территории Двинской экспериментальной лесной базы ИЛ НАН Беларуси показа-

ло, что санитарное состояние насаждений на этих плантациях до 35–40-летнего возраста вполне удовлетворительное [9]. Для ели уменьшение возраста рубки главного пользования особенно важно, так как с возрастом эта порода в значительной степени подвержена стволовой гнили. Снижение возраста главной рубки древостоев на лесных плантациях может способствовать уменьшению потерь древесины от этой болезни.

Большую опасность для ели европейской в условиях Республики Беларусь после 40-летнего возраста представляет корневая губка, поэтому одним из весомых аргументов в пользу плантационного лесоводства является то, что поражаемость ели данной болезнью на лесных плантациях, даже на старопахотных почвах, снижается многократно по сравнению с контрольными насаждениями. Это связано с тем, что селекционное разреживание молодняков в середине первого класса возраста существенно изменяет световой режим под пологом древостоев. Как следствие, существенно меняется видовой состав живого напочвенного покрова, что, в свою очередь, вносит положительные изменения в почвообразовательный процесс. Но главное состоит в том, что на лесных плантациях значительно уменьшается внутривидовая конкуренция древесных растений и, как следствие, многократно снижается количество ослабленных и усыхающих деревьев, а следовательно, ухудшаются условия для распространения вредителей и болезней.

В соответствии с государственным стандартом Республики Беларусь (СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания», который введен в действие с 01.03.2018 г., лесные плантации планируется создавать в радиусе 100 км вокруг предприятия в основном для ОАО «Борисовский ДОК», РУП «Завод газетной бумаги» в г. Шклове, ОАО «Ивацевичдрев», ОАО «Мостовдрев» и ОАО «Светлогорский ЦКК». Процесс усыхания ельников имеет более широкое распространение, поэтому становится очевидной целесообразность расширения зоны плантационного лесоводства.

Увеличить объемы плантационного лесовыращивания в Беларуси можно за счет развития ускоренного выращивание на вырубках крупной древесины (пиловочника). С экономических позиций это направление за счет снижения возраста главной рубки также дает большую выгоду. При этом рубка главного пользования проводится в 50–55-летнем возрасте, что, конечно же, несколько снижает эффективность данного мероприятия в сравнении с выращиванием балансовой древесины, при котором главная рубка проводится в 35–40 лет.

Расчеты с учетом фактора времени свидетельствуют о том, что снижение возраста главной рубки в ельниках, особенно в районах, прилегающих к предприятиям – крупным потребителям балансовой древесины, вполне оправдано с экономической точки зрения. Важным аргументом в пользу создания лесных плантаций на месте вырубок усыхающих ельников является то, что если в будущем усыхание ельников прекратится, лесные плантации можно легко переориентировать на выращивание крупной древесины (пиловочника).

Существуют и другие пути решения проблемы лесовосстановления вырубок усыхающих ельников [7, 10, 11, 12]. Одним из таких заслуживающих внимания путей преодоления «елового кризиса», т. е. формирования устойчивых лесов против усыхания, является хотя бы частичная замена ели европейской лиственницей европейской, которая отличается быстрым ростом, высокой устойчивостью против промышленных выбросов за счет ежегодной смены хвои и дает качественную древесину. Лиственница европейская издавна привлекает внимание отечественных и зарубежных лесоводов своей долговечностью и стойкостью древесины против гниения, которая не находит широкого применения только по причине ее дефицита в условиях Беларуси. Этот вид обладает неопценимыми экологическими свойствами, так как на века связывает огромное количество углерода, что с каждым годом при оценке лесов на фоне усиливающихся природных катаклизмов приобретает все большее практическое значение.

Перспективным при лесовосстановлении вырубок усыхающих ельников может быть создание смешанных елово-лиственничных плантаций, образующих как взаимодополняемые породы еще более продуктивные насаждения. Существенный недостаток лиственницы европейской – ее саблевидный ствол и кривизна его в молодом возрасте. Поэтому особое внимание в настоящее время следует уделить разведению ее более продуктивного подвида – лиственнице польской, которая по интенсивности роста значительно превосходит отечественные древесные породы и отличается от лиственницы европейской прямым стволом.

Опытная плантация лиственницы польской создана нами в 1989 г. в кв. 1 Псуевского лесничества Двинской ЭЛБ НАН Беларуси на раскорчеванной широкими полосами (30 м) вырубке. В результате на месте вырубленного елового насаждения к настоящему времени на участке сформировалось высокопродуктивное, устойчивое и ценное насаждение. Создание на месте вырубленных усыхающих ельников насаждений лиственницы европейской (польской)

вполне можно считать мероприятием, выполняемым в духе Парижских соглашений по стабилизации климата.

Крен в сторону создания на вырубках усыхающих ельников смешанных по составу древостоев, широко применяемый в лесохозяйственной практике, конечно же заслуживает внимания. Однако это мероприятие имеет существенный недостаток, так как способствует сокращению в Беларуси наиболее продуктивных и экологически ценных хвойных лесов.

В Беларуси имеется неплохой опыт культивирования дуглассии (Прилуцкая дача). Возможно, эта порода может также стать неплохой альтернативой ели в соответствующих лесорастительных условиях. Данный вопрос следует изучить и сделать обоснованные выводы.

Важным направлением борьбы с последствиями деградации ельников должна оставаться применяемая в настоящее время в лесоводственной практике заблаговременная рубка пораженных вредителями и болезнями деревьев, которая позволяет снизить до минимума потери древесины в очагах усыхания ели. При этом минимизация последствий массового усыхания ели обеспечивается проведением комплекса организационно-технических, лесохозяйственных мероприятий, осуществляемых с учетом закономерностей усыхания ельников, а также биогеоценотических особенностей их восстановления [13, 14].

Заключение. Молодому организму свойственна повышенная пластичность, а следовательно, и лучшая приспособляемость к ухудшению условий внешней среды, поэтому одним

из путей лесовосстановления вырубок усыхающих ельников может быть развитие плантационного лесоводства, которое за счет снижения возраста главной рубки позволяет в значительной степени упредить массовое усыхание древостоев. Развитие плантационного лесовыращивания в условиях Беларуси позволяет за счет снижения возраста главной рубки древостоев до 35–40 лет вырастить 300–350 м³/га ценной балансовой древесины.

Одним из перспективных путей преодоления «елового кризиса», т. е. формирования устойчивых лесов против усыхания, является замена ели европейской лиственницей европейской, которая, как известно, отличается быстрым ростом, высокой устойчивостью против промышленных выбросов за счет ежегодной смены хвои и дает качественную древесину. Особую значимость приобретает то, что этот вид обладает неценимыми экологическими свойствами, так как на века связывает огромное количество углерода.

Особое внимание в сложившихся условиях в настоящее время следует уделить разведению еще более продуктивного подвида лиственницы европейской – лиственнице польской, которая по интенсивности роста значительно превосходит отечественные древесные породы и отличается от лиственницы европейской прямым стволом.

Создание на месте вырубленных усыхающих ельников насаждений лиственницы европейской (польской) можно считать мероприятием, выполняемым в духе Парижских соглашений по стабилизации климата.

Литература

1. Родин А. Р. Искусственное лесовыращивание: избранные труды. 2-е изд. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 256 с.
2. И. В. Шутов, И. А. Маркова, М. В. Постников. Плантационное лесоводство / под общ. ред. И. В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 366 с.
3. Маркова И. А. Ускоренное выращивание лесных культур сырьевого назначения // Стационарные опытные объекты, 2008. С. 105–111.
4. Писаренко А. И., Страхов В. В. Перспективы развития лесных плантаций как основы лесовосстановления // Лесное хозяйство. 2014. № 5. С. 2–6.
5. Стороженко В. Г. Содержание понятия устойчивого лесного сообщества // Состояние и мониторинг лесов на рубеже XXI века: матер. Междунар. науч.-практ. конфер. Минск: ИЭБ НАН Беларуси, 1998. С. 233–235.
6. Штукин С. С. Ускоренное выращивание сосны, ели и лиственницы на лесных плантациях. Минск: ИООО «Право и экономика». 2004. 242 с.
7. Маркова И. А. Лесокультурное дело на Северо-Западе России: в 2-х ч. / СПб.: ГЛТУ, 2013. Ч. 1. 180 с.
8. Войтов И. В., Кочановский С. Б. Сохранение природно-ресурсного потенциала Беларуси как условие устойчивого развития // Природные ресурсы. 2000. № 2. С. 31–40.
9. Штукин С. С. Леса для качества жизни // Лесное и охотничье хозяйство. 2007. № 11. С. 10–14.
10. Романов Е. М., Еремин И. В., Нуреева Т. В. Перевод лесных культур сосны в лесные плантации, целесообразность и лесоводственно-экономическая эффективность // Лесное хозяйство. 2010. № 6. С. 30–33.

11. Царев А. П. Мировой опыт плантационного лесовыращивания // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2010. № 6 (111). С. 42–48.
12. Маркова И. А. Ускоренное производство древесины в Европейско-Уральской зоне Российской Федерации: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 116 с.
13. Сарнацкий В. В. Зонально-типологические закономерности периодического массового усыхания ельников Беларуси // Труды БГТУ. 2012. № 1: Лесное хоз-во. С. 274–276.
14. Родин А. Р. Искусственное лесовыращивание: избранные труды. 2-е изд. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 256 с.

References

1. Rodin A. R. *Iskusstvennoye lesovyrashchivaniye* [Artificial forest growing]. Moscow, FGBOU VPO MGUL Publ., 2014. 256 p.
2. Shutov I. V., Markova I. A., Postnikov M. V. *Plantatsionnoye lesovodstvo* [Plantation forestry]. St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2007. 366 p.
3. Markova I. A. Accelerated cultivation of forest cultures of raw materials. *Statsionarnyye opythyie ob'ekty* [Stationary experimental objects], 2008, pp. 105–111 (In Russian).
4. Pisarenko A. I., Strakhov V. V., Prospects for the development of forest plantations as the basis for reforestation. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2014, no. 5, pp. 2–6 (In Russian).
5. Storozhenko V. G. Contents of the concept of a sustainable forest community. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. («Sostoyaniye i monitoring lesov na rubezhe XXI veka»)*. [Material international scientific and practical conf. (“State and monitoring of forests at the turn of the 21st century”)]. Minsk, 1998, pp. 233–235 (In Russian).
6. Shtukin S. S. *Uskorennoye vyrashchivaniye sosny, yeli i listvennitsy na lesnykh plantatsiyakh* [Accelerated cultivation of pine, spruce and larch on forest plantations]. Minsk, IOOO «Pravo i ekonomika» Publ., 2004. 242 p.
7. Markova I. A. *Lesokul'turnoye delo na Severo-Zapade Rossii* [Silvicultural business]. St. Petersburg, GITU Publ., 2014. 180 p.
8. Voitov I. V., Kochanovskiy S. B. Preservation of the natural resource potential of Belarus as a condition for sustainable development. *Prirodnyye resursy* [Natural resources], 2000, no. 2, pp. 31–40 (In Russian).
9. Shtukin S. S. Forests for the quality of life. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2007, no. 11, pp. 10–14 (In Russian).
10. Romanov E. M., Eremin I. V., Nureeva T. V. Translation of pine forest cultures into forest plantations, expediency and silvicultural and economic efficiency. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2010, no. 6, pp. 30–33 (In Russian).
11. Tsarev A. P. World experience of plantational forest growing. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Uchenyye zapiski Petro-factory state university], 2010, no. 6 (111), pp. 42–48 (In Russian).
12. Markova I. A. *Uskorennoye proizvodstvo drevesiny v Evropeysko-Ural'skoy zone Rossiyskoy Federatsii* [Accelerated wood production in the European-Ural zone of the Russian Federation]. St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2016. 116 p.
13. Sarnatsky V. V. Zonal-typological regularities of periodic mass drying of Spruce forests in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 1, Forestry, pp. 274–276 (In Russian).
14. Rodin A. R. *Iskusstvennoye vyrashchivaniye* [Artificial forest harvesting]. Moscow, FGBOU VPO MGUL Publ., 2014. 256 p.

Информация об авторе

Штукин Сергей Сергеевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: hss@belstu.by

Information about the author

Shtukin Sergey Sergeevich – DSc (Agriculture), Professor, Professor, the Department of Forestry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: hss@belstu.by

Поступила 23.03.2018

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 630*245:630^X164.3:630^X945

Т. М. Бурганская

Белорусский государственный технологический университет

ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО УХОДА ЗА КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ДЕРЕВЬЕВ МАТОЧНЫХ САДОВ И ДЕНДРОПАРКОВ ЛЕСХОЗОВ БЕЛАРУСИ

Проведенные исследования включали поиск и анализ существующих в научных источниках и разработку новых технологических приемов системы дифференцированного ухода за насаждениями и отдельными древесными растениями на территориях маточных садов и дендропарков с целью ее использования на предприятиях лесной отрасли Республики Беларусь. Обоснована необходимость проведения агротехнических мероприятий по уходу за корневой системой маточных растений хвойных и лиственных деревьев в соответствии с условиями местопроизрастания, эколого-биологическими особенностями, возрастом и состоянием растений, видом заготавливаемого репродуктивного материала, способами содержания почвы по газонной, дерновой, гербицидной и паро-сидеральной системам, условиями почвенной среды и другими факторами. Рассмотрены особенности, сроки и кратность проведения основных мероприятий в рамках организации дифференцированного ухода за корневой системой хвойных и лиственных деревьев маточных садов и дендропарков, включая подкормку растений органическими и минеральными удобрениями в сухом и жидком виде, вегетационный, влагозарядковый и противозаморозковый поливы, применение стимуляторов роста и развития растений, обработку и мульчирование почвы в приствольных кругах, подготовку к зимнему периоду; защиту от основных болезней и вредителей.

Ключевые слова: маточные сады, дендропарки, деревья, дифференцированный уход.

T. M. Burhanskaya

Belarusian State Technological University

MAIN ACTIVITIES OF THE DIFFERENTIATED SYSTEM CARE FOR THE ROOT SYSTEM OF CONIFEROUS AND DECIDUOUS TREES AT NURSERY GARDENS AND DENDROPARKS OF THE FORESTRIES OF BELARUS

The conducted researches included search and analysis of the system of differentiated care for plantings and individual woody plants in the territories of nursery gardens and dendroparks existing in scientific sources and the development of new technological methods for the purpose of its use at enterprises of the forestry sector of the Republic of Belarus. The necessity of carrying out agrotechnical measures for caring for the root system of the uterine plants of coniferous and deciduous trees is substantiated in accordance with the conditions of the site of occurrence, the ecological and biological characteristics, the age and condition of the plants, the type of harvested reproductive material, the methods for keeping the soil in lawn, turf, herbicidal and steam-sideral systems, soil conditions and other factors. The features, timing and frequency of the main activities within the organization of differentiated care for the root system of coniferous and deciduous trees in nursery gardens and dendroparks are considered, including top dressing of plants with organic and mineral fertilizers in dry and liquid form, vegetative, moisture charging and anti-frost irrigation, application of growth stimulants and development of plants, processing and mulching of soil in the trunks; preparation for the winter period; protection against major diseases and pests.

Key words: nursery gardens, dendroparks, trees, differentiated care.

Введение. При организации работ по системе дифференцированного ухода за хвойными и лиственными деревьями на территориях маточных садов и дендропарков лесхозов Республики Беларусь необходимо учитывать принадлежность растений к определенным экологическим группам по отношению к основным факторам внешней среды, их возраст и состояние, другие биологические особенности, а также условия произрастания в культуре, вид заготавливаемого репродуктивного материала, назначение насаждений и др.

Проведенные исследования базировались на использовании методов сравнительного анализа и были направлены на поиск существующих в научных источниках и разработку новых агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение хорошего урожая семян хвойных и лиственных деревьев, поддержание их жизнеспособности и декоративности путем регулирования содержания в почве макро- и микроэлементов, кислотности почвенного раствора, обработки почвы приствольных кругов, оптимизации ее влажности, проведения защитных мероприятий в маточных садах и дендропарках на основании ежегодных обследований и регулярных выявлений очагов вредителей и болезней.

Основная часть. В маточных садах и дендропарках внесение удобрений под хвойные и лиственные деревья проводится с учетом отношения древесных пород к плодородию почвы и конкретным условиям почвенной среды. Требовательные хвойные и лиственные деревья (ель обыкновенная, бархат амурский, бук восточный, граб обыкновенный, некоторые дубы, ивы белая и ломкая, ильмовые, клены полевой, ложноплатановый и остролистный, липа крупнолистная, ольха черная, рябина обыкновенная, тополь черный, ясень и др.) хорошо развиваются лишь на богатых гумусом и минеральными веществами супесях, суглинках и черноземах. Среднетребовательные хвойные и лиственные деревья (лиственница сибирская, пихты, сосны веймутова и черная, дуб скальный, ива козья, клен ясенелистный, ольха черная, тополь дрожащий, черемуха обыкновенная и др.) успешно произрастают на сравнительно небогатых супесчаных и подзолистых почвах. Малотребовательные и нетребовательные деревья (сосны горная и обыкновенная, березы повислая и пушистая, дуб черешчатый, робиния лжеакация, тополь белый, шелковица и др.) могут расти на бедных почвах [1–3].

В соответствии со шкалой степени сложности экологических условий на объектах ландшафтного строительства могут быть выделены:

– нормальные условия почвенной среды – замусоренность верхних слоев почвы отсутствует или слабая, уровень грунтовых вод – 2 м и ниже; кислотность в пределах 5,5; содержание фосфора и калия – в пределах норм (фосфора – 5 мг/100 г почвы, калия – до 10 мг/100 г почвы); азота – в пределах 0,5–1,9 мг/100 г почвы; содержание гумуса – 2–4%;

– сложные условия почвенной среды – наличие мусора в верхних слоях почвы; уровень грунтовых вод – 1,5–2,0 м; кислотность – в пределах 4,5–5,0; содержание фосфора – менее 2,5 мг/100 г почвы; калия – менее 5 мг/100 г почвы; азота – менее 1 мг/100 г почвы; содержание гумуса менее 0,5%;

– очень сложные условия почвенной среды – сильная замусоренность верхних слоев почвы, залегание грунтовых вод ближе 1,5 м; содержание фосфора менее 1,5 мг/100 г почвы; калия – менее 3 мг/100 г почвы; азота – менее 0,3 мг/100 г почвы; гумус отсутствует [4].

В нормальных условиях почвенной среды и при хорошем состоянии хвойных и лиственных деревьев их корневые подкормки не проводятся. В сложных условиях почвенной среды, а также для ослабленных деревьев и пород, предъявляющих высокие требования к плодородию почвы, нормы внесения органических и минеральных удобрений при корневых подкормках могут быть следующими: органические удобрения – 10–15 кг/дерево; минеральные удобрения – I подкормка (ранняя весна) – азот – 15; фосфор – 10, калий – 5 г д.в./дерево; II подкормка (период интенсивного роста побегов) – азот, фосфор, калий – 7, 15, 5 г д.в./дерево соответственно; III подкормка (июль – август) – фосфор, калий – 10 г д.в./дерево [4].

В очень сложных условиях почвенной среды создавать маточные сады и дендропарки нецелесообразно.

Выбор способа внесения органических и минеральных удобрений во многом определяется особенностями содержания почвы в маточных садах и дендропарках. При использовании газонной и дерновой систем содержания почвы наиболее эффективны жидкие подкормки деревьев гидробуром, что снижает конкуренцию многолетних трав с древесными растениями за питательные вещества и влагу. В зависимости от состояния деревьев могут быть рекомендованы 1–2 жидкие подкормки: первая в конце мая – начале июня (период активной вегетации растений); вторая – июль – начало августа (фаза полного облиствения растений) из расчета на одно дерево в возрасте 10–15 лет 30 л; 20–25 лет – 50 л удобрительного раствора (таблица).

Основные мероприятия по дифференцированному уходу за корневой системой хвойных и лиственных деревьев маточных садов и дендропарков

Агротехнические мероприятия	Предварительные работы	Группы растений; сроки, кратность проведения работ, расход материалов	Примечание
Противозаморозковый (весенний) полив	Устройство приствольных лунок для полива	<i>Чувствительные к заморозкам древесные растения-интродуценты</i> ; за 1–2 дня до наступления похолодания и до окончания заморозков, непрерывно или с перерывами не больше чем на 20–40 мин, включая ночные часы	Используют способ дождевания растений
Вегетационный (летний) полив		<i>Саженцы деревьев-мезофитов с оголенной корневой системой в первый год после посадки</i> – до 25 л/дерево не менее 2 раз в месяц; <i>в засушливых условиях</i> – до 35 л/дерево не менее 3 раз в месяц	Полив производится прогретой до температуры воздуха водой в утренние (до 10.00) или вечерние (после 18.00) часы
		<i>Саженцы деревьев-мезофитов с комом и растений-гигрофитов</i> в первый год после посадки – до 50 л/дерево, не менее 3 раз в месяц	
		<i>Плодоносящие деревья-гигрофиты</i> – 2–15 раз не менее 40–60 л/м ² ; <i>мезофиты</i> – до 3–6 раз за сезон, не менее 30–40 л/м ² ; <i>ксерофиты</i> – не проводится или 1–2 раза за сезон в особо засушливые годы, 25–30 л/м ²	
Влагозарядковый (осенний) полив		<i>Саженцы и низкорослые деревья (гигрофиты и мезофиты)</i> – 40–60 л/дерево; <i>крупные плодоносящие деревья (гигрофиты и мезофиты)</i> до 150–200 л/дерево; вторая половина сентября – начало октября. В засушливые годы необходима также весенняя влагозарядка деревьев с трехкратной поливной нормой	Не проводится или осторожно на глинистых почвах, пониженных участках и при высоком уровне грунтовых вод
Известкование почвы	–	<i>Большинство хвойных и лиственных деревьев (оптимум pH в пределах 5,5–7,5)</i> : внесение извести 200 г на 1 м ² приствольного круга на почвах легкого механического состава (супесчаных, песчаных, искусственных насыпных) и до 400 г на почвах тяжелого механического состава (суглинистых и глинистых); не чаще одного раза в 3–5 лет, под зиму	Когда кислотно-щелочной баланс приведен в соответствие с потребностями культуры, его нужно поддерживать на оптимальном уровне
Подкисление почвы	–	<i>Древесные растения, требующие кислой реакции почвы</i> : использование физиологически кислых удобрений (сернокислый аммоний, суперфосфат, сернокислый калий, др.) или минеральных соединений (коллоидная сера – 1 кг/10 м ² снижает pH примерно на 2 единицы в течение года, сульфат железа – 0,5 кг/10 м ² снижает pH на 1 единицу в течение месяца)	–
Корневая подкормка	Прополка, полив (при необходимости)	<i>Эвтрофы и сильно ослабленные растения в сложных условиях почвенной среды</i> : органическая подкормка, 1 раз в 3–4 года, ранней весной или осенью; I подкормка (ранняя весна) – азот – 15; фосфор – 10, калий – 5 г д.в./дерево; II подкормка (период интенсивного роста побегов) – азот, фосфор, калий – 7, 15, 5 г д.в./дерево соответственно; III подкормка (июль – август) – фосфор, калий – 10 г д.в./дерево	Наряду с простыми эффективны комплексные удобрения, а также специализированные удобрения для декоративных хвойных и (или) лиственных деревьев или отдельных пород
		<i>Мезотрофы и ослабленные растения в нормальных условиях почвенной среды</i> : раз в 1–3 года в мае комплексным или органо-минеральным удобрением	
		<i>Олиготрофы и хорошо развитые растения в нормальных условиях почвенной среды</i> : не обязательна	

Агротехнические мероприятия	Предварительные работы	Группы растений; сроки, кратность проведения работ, расход материалов	Примечание
Рыхление и прополка почвы	–	<i>Молодые хвойные и лиственные деревья</i> : не менее 3–4 раз за сезон	Рыхление проводится поверхностно до 10 см глубиной. Окапывать деревья с насыпкой земли у их ствола запрещается
Мульчирование почвы	Прополка, подкормка (при необходимости)	<i>Растения кислых почв</i> : корой мелких фракций (до 30–40 мм) хвойных пород, еловой хвоей, торфокрошкой, опилками слоем 3–5 см	Для защиты от роста сорной растительности может быть устроено основание из геотекстиля или спандбонда плотностью не менее 60 г/м ²
		<i>Растения слабокислых и нейтральных почв</i> (большинство хвойных и лиственных деревьев): щепой лиственных пород крупной фракции (более 50 мм), корой средних фракций (30–70 мм); компост, выветрившийся торф слоем до 5 см	
		<i>Кальцефилы</i> : разложившимся торфом с pH ≥ 7, неорганическими инертными материалами слоем до 5 см	
		Мульчирование проводят весной или в начале лета (защищает корневую систему летом) и осенью (защищает корневую систему зимой)	
Использование стимуляторов роста и развития	Полив (при необходимости)	Полив растений растворами препаратов «Ростомент», «Оксидат торфа с микроэлементами», «Фитовитал» и др., разрешенными для использования в Республике Беларусь, в соответствии с инструкцией по их применению, обычно 1 раз в год	Все породы
Удаление поросли и отпрысков	–	<i>Привитые формы и деревья, склонные к образованию корневой поросли или столонных отпрысков</i> : регулярно, в течение вегетации; если планируется пересадка поросли или отпрысков – осенью либо ранней весной	Вырезка поросли до основания у привитых растений; выкопка поросли и отпрысков, укорачивание их надземной части
Утепление корней	Влагозарядковый полив	<i>Молодые деревья и недостаточно устойчивые к морозам растения-интродуценты</i> : поздняя осень, ежегодно, теплоизоляционные материалы, включая торф и компост	Торф и компост весной используют как удобрение
Защита от вредителей	При посадке саженцев обмакивание корней в болтушку с использованием разрешенных инсектицидов	<i>Растения без признаков ослабления и поврежденные в слабой степени</i> : надзор за появлением вредителей; глубокая зяблевая вспашка; уничтожение сорняков; скашивание травы в приствольных кругах деревьев; при закладке маточных садов удаление из почвы остатков корней деревьев и кустарников; выбраковка зараженного посадочного материала; вырубка и уничтожение зараженных растений	Все породы
		<i>Растения со средней и сильной степенью повреждения</i> : внесение в почву разрешенных препаратов на основе диазинона; обработка крон разрешенными инсектицидами	
Защита от болезней	Визуальный осмотр деревьев	<i>Растения без признаков ослабления и пораженные в слабой степени</i> : использование здорового посадочного материала; соблюдение агротехники выращивания, в т. ч. применение удобрений, рыхление междурядий и др.	
		<i>Растения со средней и сильной степенью поражения</i> : удаление пораженных и усохших деревьев с обязательной корчевкой пней	

Поверхностный способ внесения удобрений в сухом виде путем их равномерного разбрасывания является эффективным при условии устройства приствольных кругов и их содержания в свободном от сорной растительности состоянии при газонной или дерновой системах содержания почвы в дендропарках и демонстрационных маточных садах либо при использовании гербицидной и паро-сидеральной систем в маточных садах эксплуатационного типа, организованных по принципу плодового сада с рядовыми посадками растений.

Органические удобрения в сухом виде вносятся под деревья из расчета 10–15 кг/дереву в 10–15 см от стеблей растений и заделывают в почву на глубину до 10 см; минеральные удобрения – 350–400 г смеси на 1 м² площади приствольного круга [5, 6].

Более эффективно внесение минеральных удобрений в сухом виде в устроенные по периферии проекции кроны дерева канавки глубиной 20–30 см (норма внесения – 200 г смеси удобрений на 1 пог. м) с последующей заделкой канавки и поливом растений либо в щели (скважины) глубиной 40–50 см, диаметром 6–8 см на расстоянии 0,6–1,7 м от деревьев в количестве не менее 5 шт./м² (норма внесения – до 100 г смеси минеральных удобрений с перегноем на 1 щель) [5–8].

Для деревьев, предъявляющих высокие требования к плодородию почвы, а также ослабленных экземпляров, произрастающих в сложных условиях почвенной среды, эффективно применение органо-минеральных удобрений из расчета 3 кг смеси на 1 м² приствольного круга или лунки либо шурфование приствольных лунок. В последнем случае ранней весной или осенью один раз в 3–5 лет на расстоянии 60–80 см от ствола или по краю лунки делают 6–8 скважин диаметром 7–12 см, глубиной 60–80 см, которые заполняют компостом, торфом или опилками, пропитанными минеральными удобрениями. Шурфование также обеспечивает дренирование почвы, что способствует улучшению ее воздушного и водного режимов.

Следует отметить, что избыточное внесение органики и азотсодержащих минеральных удобрений при подкормке семенных маточных деревьев способствует их вегетативному росту в ущерб цветению и плодоношению; в случае заготовки репродуктивного материала вегетативного происхождения – отрицательно сказывается на способности черенков к укоренению. Кроме того, затягивается период вызревания побегов маточных растений, в результате чего их приросты могут повреждаться морозами.

Известкование почвы в маточных садах и дендропарках проводится при их закладке, а далее по необходимости, но не чаще одного раза в 3–5 лет.

Сроки, кратность и норма полива хвойных и лиственных деревьев зависят от требовательности растений к влажности почвы, их возраста, фазы развития, условий произрастания, климатических факторов. Для большинства хвойных и лиственных деревьев оптимальный уровень влажности почвы – 70–80% полевой влагоемкости. Могут быть рекомендованы вегетационные (летние), влагозарядковые (осенние) и противозаморозковые (весенние) поливы (таблица).

Вегетационные поливы в нормальных условиях произрастания хвойных и лиственных деревьев в маточных садах и дендропарках проводят после посадки саженцев с оголенной корневой системой в течение периода вегетации, соблюдая норму полива 25 л/дереву не менее 2 раз в месяц; в засушливых условиях – до 35 л/дереву не менее 3 раз в месяц и до 50 л для деревьев с комом и гидрофитов, также не менее 3 раз в месяц. Для плодоносящих деревьев поливная норма должна составлять не менее 40–60 л/м² в месяц. Норма полива на 1 м² поливной лунки в зависимости от типа почвы составляет: тяжелый суглинок – 80, легкий и средний суглинок – 70, супесчаная почва – 65, песчаная – 50, перегнойная – 85 л. Деревья до 15 лет в сухую и жаркую погоду следует поливать не менее 10–15 раз за вегетационный сезон, для взрослых растений кратность поливов снижается до 4–6 раз, в массивах – до 2–4 раз за сезон. На 1 га площади маточного сада за один полив расходуют 500–1200 м³ воды. Для уменьшения расхода воды на испарение полив производится в утренние и вечерние часы. Потребность в воде возрастает в период активного роста новых побегов и корней [3, 5–8].

Влагозарядковый (осенний) полив проводится во второй половине сентября – начале октября в период интенсивного роста поглощающих корней при снижении влажности почвы ниже 70–80% полевой влагоемкости. Он обеспечивает повышение устойчивости древесных растений (гидрофитов и мезофитов) и их цветочных почек к низким температурам зимнего периода. Для этого поливная норма должна составлять для молодых растений и низкорослых плодоносящих деревьев не менее 40–60 л/дереву; крупных плодоносящих деревьев до 150–200 л/дереву. Влагозарядковый полив может быть вреден на тяжелых глинистых почвах, на пониженных участках, а также в случае высокого уровня грунтовых вод. Здесь он проводится в отдельные годы, при иссушении глубоких слоев почвы [9].

Противозаморозковые поливы необходимо проводить при организации ухода за недостаточно устойчивыми к заморозкам древесными растениями-интродуцентами, за 1–2 дня до наступления весенних заморозков и заканчивать после их окон-

чания. Их проводят способом дождевания, непрерывно или с короткими перерывами (не больше чем на 20–40 мин), включая ночные часы [9].

Для полива деревьев в маточных садах и дендропарках могут быть использованы дождевальные установки, шланги, поливочные машины или гидробуры. После полива для сохранения почвенной влаги эффективны мульчирование или поверхностное рыхление почвы.

Внесение регуляторов роста и развития растений в почву производится один раз в год одновременно с внесением минеральных удобрений (в одном рабочем растворе) или без них.

В качестве действующих веществ-стимуляторов могут быть использованы гетероауксин (индолилмасляная кислота); продукты метаболизма дрожжей рода *Saccharomyces* (регулятор роста «Ростоммент»); гуминовые вещества (препараты «Оксидат торфа», «Оксидат торфа с микроэлементами», «Гидрогумат» и др.); янтарная кислота (препарат «Фитовитал» и др.); тритерпеновые кислоты («Экосил»); эфирбрасиннолид («Эпин», «Эпин экстра») и др.

Например, при пересадке корни небольших деревьев желательно обрабатывать глиняной болтушкой, содержащей гетероауксин в концентрации 0,01% (100 мг/л воды). При пересадке деревьев с земляным комом раствором гетероауксина поливают приствольный круг. Растущие деревья поливают из расчета 30–50 л раствора гетероауксина 0,001–0,003% на 1 м² площади приствольного круга. Для поддержания жизнеспособности ослабленные деревья также поливают раствором гетероауксина в концентрации 0,003–0,005% в зависимости от их возраста. Стимуляторы роста и развития растений эффективны при достаточном обеспечении почвы влагой и элементами минерального питания [5–7].

Поражение корневой системы деревьев в дендросадах, дендропарках и маточных садах питомников встречается не столь часто, как в

лесных насаждениях, однако они могут нанести определенный ущерб.

Наиболее опасны грибные инфекции, которые вызывают пеструю ямчато-волокнистую корневую и комлевую гнили хвойных пород, а также белую заболонную гниль коней.

Для борьбы с болезнями и вредителями хвойных и лиственных деревьев могут быть рекомендованы профилактические (надзор за состоянием растений и появлением болезней и вредителей; использование для посадки здоровых саженцев; повышение устойчивости растений путем создание оптимальных условий для их роста и развития и др.); санитарно-оздоровительные (удаление из посадок погибших растений и их уничтожение; обрезка больных и поврежденных частей растений и др.); активных (обработка химическими и биологическими средствами защиты растений от вредных организмов) [10, 11].

Утепление корневой системы молодых деревьев и недостаточно устойчивых к морозам растений-интродуцентов теплоизоляционными материалами проводится с целью продления периода вызревания корней после их осеннего роста и предотвращения вымерзания саженцев зимой. На утепляемую поверхность, превышающую поверхность посадочной ямы на 15–20 см, укладывают торф или перегной слоем 15 см, либо листья, присыпанные землей, 20–25 см [12].

Заключение. В результате проведенных исследований определены направления формирования системы мероприятий по дифференцированному уходу за корневой системой деревьев маточных садов и дендропарков в природно-климатических условиях республики, которые могут быть положены в основу разработки технологического регламента на проведение мероприятий по системе дифференцированного ухода за древесными растениями маточных садов и дендропарков на территориях лесхозов Республики Беларусь.

Литература

1. Нестерович Н. Д. Интродукционные районы и древесные растения для зеленого строительства в Белорусской ССР: справочник. Минск: Наука и техника, 1982. 109 с.
2. Ассортимент декоративных деревьев и кустарников для зеленого строительства Беларуси и рекомендации по оптимизации условий выращивания сеянцев / Е. А. Сидорович, И. М. Гаранович, А. А. Чаховский, под ред. Е. А. Сидоровича. Минск: Технология, 1997. 62 с.
3. Соколова Т. А. Декоративное растениеводство. Древодводство: учебник. М.: Академия, 2004. 352 с.
4. Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений г. Москвы [Электронный ресурс]. URL: https://www.drevo-spas.ru/userfiles/pravila_Moskva.doc. Дата обращения: 13.09.2017.
5. Теодоронский В. С. Садово-парковое строительство (посадки деревьев и кустарников в сложных экологических условиях): учеб. пособие. М.: Изд-во МГУЛ, 1999. 90 с.
6. Теодоронский В. С. Садово-парковое строительство: учебник. 3-е изд. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 336 с.
7. Гаранович И. М., Македонская Н. В. Технологические приемы в питомниководстве и зеленом строительстве Беларуси: справочное пособие. Минск: Право и экономика, 2006. 240 с.

8. Основы декоративного садоводства: учеб. пособие. В 2-х ч. Ч. 2. Строительство и эксплуатация объектов озеленения / Н. А. Макознак [и др.]. Минск: Выш. шк., 2010. 272 с.
9. Скрипко И. А. Системы полива. М.: Вече, 2003. 192 с.
10. Болезни и вредители декоративных растений в насаждениях Беларуси / В. А. Тимофеева [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2014. 185 с.
11. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь [Электронный ресурс]. 2016. URL: http://www.ggiskzr.by/gosudarstvennyj_rees. Дата обращения: 05.03.2018.
12. Способы защиты растений от заморозков [Электронный ресурс]. 2016. URL: <http://www.maslovpitomnik.ru/index.php/news-and-information/60-gardener/222-how-to-protect-plants-from-frost>. Дата обращения: 10.11.2016.

References

1. Nesterovich N. D. *Introduktsionnye rayony i drevesnyye rasteniya dlya zelenogo stroitel'stva v Belorusskoy SSR* [Introduction Areas and Woody Plants for Green Building in the Byelorussian SSR]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 109 p.
2. Sidorovich E. A., Garanovich I. M., Chakhovskiy A. A. *Assortiment dekorativnykh derev'yev i kustarnikov dlya zelenogo stroitel'stva Belarusi i rekomendatsii po optimizatsii usloviy vyrashchivaniya seyantssev* [Assortment of ornamental trees and shrubs for green building in Belarus and recommendations for optimizing the conditions for growing seedlings]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 1997. 62 s.
3. Sokolova T. A. *Dekorativnoye rastenievodstvo. Drevovodstvo* [Decorative plant growing. Arboriculture]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 352 p.
4. *Pravila sozdaniya, okhrany i soderzhaniya zelenykh nasazhdeniy g. Moskvy* [Rules for the creation, protection and maintenance of green spaces in Moscow]. Available at: https://www.drevo-spas.ru/userfiles/pravila_Moskva.doc. (accessed 09.03.2017).
5. Teodoronskiy V. S. *Sadovo-parkovoye stroitel'stvo (posadki derev'yev i kustarnikov v slozhnykh ekologicheskikh usloviyakh)* [Garden and park construction (planting trees and shrubs in difficult environmental conditions)]. Moscow, MGUL Publ., 1999. 90 p.
6. Teodoronskiy V. S. *Sadovo-parkovoye stroitel'stvo* [Garden and park construction]. Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2008. 336 p.
7. Garanovich I. M., Makedonskaya N. V. *Tekhnologicheskiye priemy v pitomnikovodstve i zelenom stroitel'stve Belarusi* [Technological methods in nursery and green building of Belarus]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2006. 240 p.
8. Makoznak N. A., Burhanskaya T. M., Baranov M. I., Blintsov A. I., Yarmolovich V. A. *Osnovy dekorativnogo sadovodstva. V 2 chastyakh. Chast' 2. Stroitel'stvo i ekspluatatsiya ob'yektov ozeleneniya* [Fundamentals of decorative gardening. In 2 parts. Part 2. Construction and maintenance of landscaping objects]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 2010. 272 p.
9. Skripko I. A. *Sistemy poliva* [Irrigation systems]. Moscow, Vechе Publ., 2003. 192 p.
10. Timofeeva V. A., Golovchenko L. A., Voynilo N. V., Linnik L. I., Dishuk N. G. *Bolezni i vrediteli dekorativnykh rasteniy v nasazhdeniyakh Belarusi* [Diseases and pests of ornamental plants in plantations of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2014. 185 p.
11. *Gosudarstvennyy reestr sredstv zashchity rasteniy (pestitsidov) i udobreniy, razreshennykh k primeneniyu na territorii Respubliki Belarus'* [State register of plant protection products (pesticides) and fertilizers permitted for use on the territory of the Republic of Belarus]. 2016. Available at: http://www.ggiskzr.by/gosudarstvennyj_rees (accessed 12.05.2017).
12. *Sposoby zashchity rasteniy ot zamorozkov* [Ways to protect plants against frost]. 2016. Available at: <http://www.maslovpitomnik.ru/index.php/news-and-information/60-gardener/222-how-to-protect-plants-from-frost> (accessed 10.11.2016).

Информация об авторе

Бурганская Тамара Минаевна – кандидат биологических наук, заведующая кафедрой ландшафтного проектирования и садово-паркового строительства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tburganskaya@gmail.com

Information about the author

Burhanskaya Tamara Minaevna – PhD (Biology), Head of the Department of Landscape Design and Architecture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tburganskaya@gmail.com

Поступила 30.03.2018

ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630.1.06

М. Ю. Вонселев, Д. А. Подошвелев

Белорусский государственный технологический университет

РЕВАЙЛДИНГ БЕЛОРУССКИХ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ: РЕИНТРОДУКЦИЯ КРУПНЫХ ТРАВЯДНЫХ ЖИВОТНЫХ

Сохранение уникальных природных ландшафтов, а вместе с ними видового разнообразия животных, птиц и растений, обитающих на данной территории, – задача будущего. С развитием современного общества возрастающее антропогенное воздействие привело к исчезновению многих крупных травоядных животных, птиц, а также хищников, которые выполняли роль поддержания экосистем исторически сложившихся ландшафтов в состоянии устойчивого развития. Во времена активного ведения подсобного и сельского хозяйства выпас крупного рогатого скота в некоторой мере решал проблему деградирования ландшафтов. В дальнейшем при сокращении тенденции выпаса крупного рогатого скота открытые ландшафты зарастают не типичной для них растительностью, кустарниками и деревьями, что приводит к изменению данного ландшафта, потере его эколого-климаторегулирующих функций, а также вытекающим из этого последствиям для фауны. В некоторых случаях механическое воздействие, в особенности на пойменные ландшафты, решает проблему их зарастания, но данный метод малоэффективен и требует больших затрат. В настоящее время актуальным решением этой задачи выступает пассивное управление различными экосистемами при помощи вселения в них животных, которые будут являться орудием поддержания и формирования надлежащей формы ландшафта. Данный метод пассивного управления получил название ревайлдинг.

Ключевые слова: открытые ландшафты, пассивное управление, ревайлдинг, экосистема, устойчивое развитие.

M. U. Vonselev, D. A. Podoshvelev

Belarusian State Technological University

REWILDING BELORUSIAN NATURAL LANDSCAPES: REINTRODUCTION LARGE HERBIVORES

The task of the future preserve the unique natural landscapes and together with them diversity kind of animals, birds and plants living in this areas. With the development modern society, the increasing anthropogenic impact has led to extinction of many large herbivores, birds and predators that fulfilled the role of maintaining the ecosystems of historically developed landscapes in a state of sustainable development. In times of active farming and agriculture, grazing of cattle to some solved the problem of landscape degradation. In the future, with the reduction in the trend of grazing cattle, open landscapes regrowth not typical for them vegetation, shrubs and trees, that leads to a change in this landscape, the loss of its ecological and climatic control functions, and the ensuing consequences for the fauna. In sometimes, mechanical impact in particular on floodplain landscapes to decide the problem regrowth them, but this method is inefficient and expensive. Nowaday, actual solution this task is passive management different ecosystems with help to introduction animals, that will be tool to maintaining and creating appropriate landscape form, this method passive management received to name rewilding.

Key words: open landscapes, passive management, rewilding, ecosystem, sustainable development.

Введение. На современном этапе развития человечества остро возникала проблема ухудшения состояния природных ландшафтов как следствие разрушения пойменных и лесных экосистем, уменьшения видового разнообразия животных, исчезновения мест обитания, уменьшения количества и качества уникальных ландшафтов. Данные процессы могут вызвать сложности не только в сохранении редких видов, но и значи-

тельное сокращение объемов использования биологических ресурсов биосферы.

Ревайлдинг – это пассивный метод управления экологическими изменениями с целью восстановления природных экосистемных процессов и снижения антропогенного влияния на ландшафты, который использует естественные трофические, симбиотические, конкурентные и другие взаимодействия живых организмов [1, 2].

Европейская мегафауна в прошлом до исчезновения некоторых видов мегафауны на глобальном или местном уровнях играла важную роль в поддержании ландшафтов в уникальном, характерном для данной территории виде [3].

Основная часть. С целью выявления обоснованности применения ревайлдинга для определенных нарушенных или видоизмененных ландшафтов европейскими исследователями были проведены сравнительные исследования по изучению количественных и качественных показателей различных видов пользования функций экосистем, которые возможны на разных территориях [4]. Данная оценка в виде схемы представлена на рис. 1.

Как видно из схемы, на территориях, на которых был проведен ревайлдинг, отмечается наибольшее биоразнообразие, наилучшим образом протекает естественное регулирование водных ресурсов и защита почв. При этом данные ландшафты, также как и лесные плантации и территории с экстенсивным ведением сельского хозяйства, имеют высокие эстетические свойства и могут быть использованы для рекреации. В то же время на территориях с проведением ревайлдинга практически отсутствуют природопользования, которые направлены на интенсивное изъятия органических веществ из природных экосистем (интенсивное сельское хозяйство, заготовка древесины). На основании изложенного можно сделать вывод о том, что ревайлдинг должен носить ограниченный характер и в основном применяться на природоохранных территориях.

По интенсивности изменения ландшафтов и биологического разнообразия обитаемых в них животных и растений лидируют европейские страны, включая Беларусь. Следует отметить, что в наибольшей степени глобальным изменениям подверглись экосистемы развитых стран Западной Европы [5].

На данный момент ревайлдинг успешно проведен в пяти регионах Европы, еще 5 регионов являются кандидатами для его проведения. В Республике Беларусь ГПУ «РЛЗ «Налибокский» является пятым регионом [3]. На рис. 2 представлены территории осуществления данного мероприятия в Европе.

В условиях антропогенной нагрузки на природные экосистемы при проведении ревайлдинга руководствуются тремя принципами:

- 1) каждая территория должна выполнять свои специфические для данного региона функции;
- 2) каждая территория должна ассоциироваться с социальными, культурными, историческими ценностями региона;
- 3) использование восстановленных территорий должно основываться на том, что природа может предложить экономические выгодные варианты пользования в сравнении с другими альтернативами [6].

В принципах заложена защита интересов не только природоохранных организаций и экономических субъектов, но и сохранение традиционного уклада жизни местного населения, который подвержен разрушению как в условиях интенсивного природопользования, так и при придании территориям природоохранного статуса.



Рис. 1. Качественная оценка экосистемного сервиса

Территории, на которых ревалдинг проведен:

1. Западная Иберия
2. Горы Велебит
3. Восточные Карпаты
4. Южные Карпаты
5. Дельта р. Дунай

Территории-кандидаты:

6. Центральные Апеннины
7. Большая Лапония
8. Дельта р. Одр
9. Родопские горы
10. ГПУ «РЛЗ «Налибокский»



Рис. 2. Карта Европейских территорий ревалдинга

Заинтересованными сторонами являются природоохранные организации, собственники, арендаторы и управляющие землями, организации-спонсоры (инвесторы), научные учреждения.

На основании вышепредставленных принципов была разработана схема «Рабочая схема ревалдинга в Европе», которая приведена на рис. 3 [7].

Наиболее ярким примером территории, подверженной ревалдингу в Республике Беларусь, является Налибокская пушча. Цель ревалдинга здесь – восстановление лесных экосистем, характерных для Восточной Европы, с максимальным присутствием ключевых видов мегафауны до их первоначального состояния, с последующим развитием экотуризма [5].



Рис. 3. Рабочая схема ревалдинга в Европе

Крупномасштабное восстановление природных процессов включает ревайлдинг травоядных, плотоядных, а также падальщиков. В данном проекте основной упор делается на восстановление местных видов, которые ранее были истреблены, но имели важное социальное, экономическое и экологическое значение [4].

Уникальность проекта заключается в том, что абсолютно дикая популяция европейского зубра (существует без поддержки человека) развивается в тесном взаимодействии с другими травоядными, а также с популяцией хищников [3].

Таким образом, проблема утраты уникальных природных ландшафтов напрямую связана с деградацией пойменных и лесных экосистем, утратой мест обитания аборигенных видов животных и редких видов птиц. Эти проблемы при их нерешении приведут к потере туристической привлекательности данного ландшафта, а также утрате его эколого-климатических функций. Решением же будет ревайлдинг крупных травоядных животных, включение территорий охраняемых ландшафтов в экологические сети Natura 2000 и Изумрудную сеть, разработка национального проекта, а также сохранение и увеличение численности уже имеющихся видов, улучшение охранного режима уникальных ландшафтов, развитие туризма.

Немаловажно при подходе к данному проекту, помимо всего, выявить целенаправленную аудиторию, которая будет заинтересована в реализации проектов по пассивному управлению.

В Республике Беларусь такими организациями являются: Министерство лесного хозяйства, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, природоохранные и экологические публичные организации.

Также следует обратить внимание, что в странах Европейского Союза существуют различные программы поддержки для реализации данного вида управления ландшафтами и их экосистемами. Основными организациями являются Европейский банк Дикой природы, Европейская столица ревайлдинга.

Некоторую заинтересованность в этом вопросе проявляют организации, сертифицирующие лесное управление, так как в будущем такой вид экологического менеджмента будет проявляться повсеместно и возникнет потребность его сертификации. Такая организация, как Лесной попечительский совет в своих требованиях к сертификации лесного управления уделяет особое внимание сохранению биоразнообразия как флоры, так и фауны. Поэтому при дальнейшем развитии этого направления стоит рассматривать данную организацию как заинтересованную.

На рис. 4 представлены разработанная схема обоснования ревайлдинга, пути решения поставленных проблем, а также выгоды, которые принесут данные решения.

Как видно из представленной схемы, ревайлдинг планируется применять в комплексе с усилением природоохранного режима, а также экологического и туристического значения выбранных для этих целей территорий.

Заинтересованные стороны: Министерства, Европейские организации по финансированию ревайлдинга, Европейский Банк Дикой природы, Лесной попечительский совет (FSC), природоохранные общественные организации

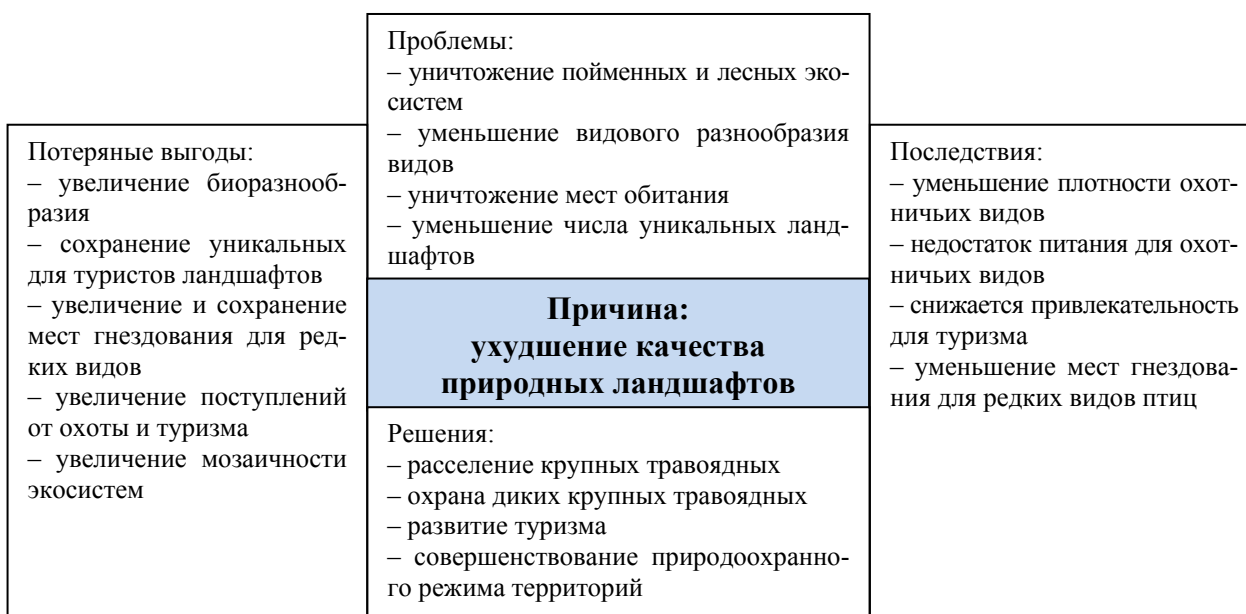


Рис. 4. Схема обоснования ревайлдинга

Заключение. В результате мы получаем устойчиво развивающиеся популяции крупных травоядных, охотничьих и неохотничьих видов животных, включая и новые реинтродуцированные виды, увеличиваем мозаичность существующих экосистем и восстанавливаем деградировавшие сообщества. В целом проводимые мероприятия должны позволить увеличить привлекательность территорий, а также их ценность как объекта туризма, уникального природного наследия. Решаются проблемы утраты мест обитания редких птиц и животных, которые также являются объектами туризма и неотъемлемой частью ландшафта. В целом сохраняя и восстанавливая характерные природные ланд-

шафты, мы вносим вклад в выполнение ими климаторегулирующих функций.

В дальнейшем прогнозируется получение значительных выгод от выполнения запланированных задач: увеличение биологического разнообразия, сохранение уникальных туристических ландшафтов, увеличение и сохранение мест гнездования редких видов, увеличение дохода от охоты и туризма, увеличение мозаичности экосистем.

Наибольший вклад и пользу для биогеоценоза представляет увеличение мозаичности экосистем, что позволяет сформировать различные по своей структуре и форме экосистемы с большим разнообразием видов флоры и фауны.

Литература

1. Донлан Джош. Re-wilding North America. *Nature*. 2005. No. 436. P. 913–914.
2. Зимов С. А. Pleistocene Park: Return of the Mammoth's Ecosystem [Science], 2005. No. 308. P. 796–798.
3. Лаегитиа М. Наварро, Хенрикве М. Пирейра Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. *Ecosystems*. 2012. No. 6. P. 900–912.
4. Митчел-Джонс А. J. Atlas of European Mammals. T&AD Poyser, 1999. P. 484.
5. Воутер Хелмер, Дели Сааведра, Магнус Силвен, Франс Шеперс. Rewilding Europe: A New Strategy for an Old Continent. *Rewilding European Landscapes*. 2015. No. 1. P. 171–190.
6. Rewilding of Naliboksky Forest [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://www.rewildingeurope.com/project/rewilding-of-naliboksky-forest/>. Дата доступа: 20.03.2018 г.
7. Хенрикве М. Пирейра. Rewilding European Landscapes Henrique. Springer. 2015. P. 227.

References

1. Donlan Josh. Re-wilding North America. *Nature*. 2005, no. 436, pp. 913–914.
2. Zimov S. A. Pleistocene Park: Return of the Mammoth's Ecosystem. *Science*. 2005, no. 308, pp. 796–798.
3. Laetitia M. Navarro, Henrique M. Pereira Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. *Ecosystems*, 2012, no. 6, pp. 900–912.
4. Mitchell-Jones. Atlas of European Mammals. *T&AD Poyser*. 1999. P. 484.
5. Wouter Helmer, Deli Saavedra, Magnus Sylvén and Frans Schepers Rewilding Europe: A New Strategy for an Old Continent. *Rewilding European Landscapes*. 2015, no. 1, pp. 171–190.
6. Rewilding of Naliboksky Forest [Digital resource]. 2018. Available at: <https://www.Rewilding-europe.com/project/rewilding-of-naliboksky-forest/> (accessed 20.03.2018).
7. Henrique M. Pereira. Rewilding European Landscapes. *Springer*. 2015. P. 227.

Информация об авторах

Вонселев Максим Юрьевич – магистрант кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: vonselew.maks@gmail.com

Подошвелев Дмитрий Александрович – доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: podoshv@gmail.com

Information about the Authors

Vonselev Maksim Yur'yevich – Master's degree student, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vonselew.maks@gmail.com

Podoshvelev Dmitriy Aleksandrovich – Assistant Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: podoshv@gmail.com

Поступила 30.03.2018

УДК 630*232.322.4:634.739.1

Д. В. Гордей¹, О. В. Морозов², Н. В. Терёшкина¹¹Белорусский государственный технологический университет²Белостокский технический университет (Республика Польша)**ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ОМОЛАЖИВАЮЩЕЙ ОБРЕЗКИ
ГОЛУБИКИ УЗКОЛИСТНОЙ (*VACCINIUM ANGUSTIFOLIUM* AIT.)
В БЕЛОРУССКОМ ПООЗЕРЬЕ**

Наметившаяся тенденция снижения средней урожайности с куста и метра квадратного площади ягодника, а также общее угнетенное состояние восьмилетних посадок голубики узколистной в Белорусском Поозерье определили необходимость дополнения сложившейся агротехники возделывания вида мероприятием по омоложению надземной части кустарничка. Периодическое – один раз в два или три года – полное удаление полога ягодника является необходимым условием поддержания высокой продуктивности естественных фитоценозов голубики узколистной в Северной Америке. С аналогичной целью, но с оставлением «пеньков», проводится обрезка в Эстонии. Обоснование организационно-технических элементов и оценка успешности нового хозяйственного мероприятия по уходу за видом-интродуцентом в условиях Беларуси имеет важное научное и практическое значение. Учитывая такие особенности площадей выработанных верховых торфяников, как высокая пожарная опасность, сезонное избыточное увлажнение, а также низкое естественное плодородие, удаление побегов голубики узколистной следует проводить путем обрезки ранней весной сразу после схода снежного покрова, но до полного оттаивания верхнего слоя торфяного субстрата, предусмотрев при этом внесение комплексного минерального удобрения на завершающем этапе работ. Для полного восстановления исходного объема надземной вегетативной сферы растений потребовался один вегетационный сезон. Новые побеги характеризовались высоким потенциалом ягодной продуктивности, но ввиду неблагоприятных погодных условий следующего после обрезки года не смогли его реализовать.

Ключевые слова: голубика узколистная, омолаживающая обрезка, надземная вегетативная сфера, ягодная продуктивность, Белорусское Поозерье.

D. V. Gordey¹, O. V. Morozov², N. V. Tereshkina¹¹Belarusian State Technological University²Bialystok University of Technology (Republic of Poland)**THE PRACTICE OF REJUVENATING PRUNING
OF LOWBUSH BLUEBERRY (*VACCINIUM ANGUSTIFOLIUM* AIT.)
IN THE BELARUSIAN POOZERIE**

The outlined tendency of decrease in average yield from a bush and square meter of the area of the berry and also the general depression of eight-year-old planting of lowbush blueberry in the Belarusian Poozerie have determined the need of addition of the existing agrotechnics of cultivation of species with an action for rejuvenation of above-ground part of the shrub. Periodic – once in two or three years – full removal of the berry's canopy is a necessary condition for maintaining the high productivity of natural stands of lowbush blueberry in North America. With reciprocal aim, but with living “hemp” cared out pruning in Estonia. Justification of organizational and technical elements and assessment of success of a new economic action for care of a look introduced species in the conditions of Belarus has great scientific and practical importance. Considering such features of the areas of the developed riding peat bogs as high fire danger, seasonal excess moistening and also low natural fertility removal of shoots of lowbush blueberry should be carried out by cutting in the early spring right after a descent of a snow cover, but before full thawing of the top layer of a peat substrate, having provided at the same time introduction of complex mineral fertilizer at the final stage of works. For a complete recovery of the initial volume of the aboveground vegetative sphere of plants one vegetation season was required. New shoots were characterized by a high potential for berry production, but due to unfavorable weather conditions, the next year after cutting, they could not realize it.

Key words: lowbush blueberry, rejuvenating pruning, above-ground part of the shrub, berry production, Belarusian Poozerie.

Введение. В 90-х годах XX столетия Т. В. Курлович и В. Н. Босак на основании сопоставления и анализа климатических показате-

телей основных районов возделывания голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) в США и Канаде с аналогичными данными обла-

стных центров Беларуси сделали теоретическое предположение о возможности успешного культивирования данного североамериканского вида на территории всей нашей страны [1]. Вышеупомянутое заключение послужило основой для формирования гипотезы о «северном голубиководстве». Согласно последней, новый интродуцент – голубика узколистная – должен позволить благополучно развивать перспективное направление ягодоводства в северной агроклиматической зоне Беларуси, где ввиду недостаточной продолжительности периода вегетации и слабой зимостойкости ежегодное успешное возделывание основного для этой отрасли плодородства кустарника – голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) – не может быть гарантировано [1]. В определенной степени подтверждением правильности выбора именно в пользу голубики узколистной является многолетний успешный опыт возделывания данного вида в Эстонии, стране, располагающейся в значительно более северных по сравнению с нашей страной широтах [2].

Опытно-промышленное изучение голубики узколистной в Белорусском Поозерье было начато весной 2009 г., когда на площади выработанного верхового торфяного месторождения Долбенишки заложили первую плантацию вида. В ходе последующих многолетних исследований была подтверждена высокая зимостойкость кустарничка, выявлена его способность к формированию сплошного покрова ягодника в результате образования дочерних растений из корневых, а также установлена положительная динамика ягодной продуктивности в молодых посадках [3].

На фоне ряда вышеперечисленных положительных характеристик, определяющих перспективу промышленного выращивания голубики узколистной, крайне актуальным для дальнейшего успеха культуры стал вопрос адаптации сложившейся в Северной Америке агротехники возделывания вида к новым эдафическим и погодно-климатическим условиям, а также установление изменений самого кустарничка под непосредственным влиянием комплекса абиотических и биотических факторов.

За годы возделывания была установлена острая потребность голубики узколистной в оптимизации условий минерального питания для успешного роста и плодоношения растений на площади выработанного верхового торфяного месторождения [4]. По вышеописанной причине ежегодно проводилось внесение определенных доз минеральных удобрений, что и составляло основу агротехники возделывания вида. Свидетельством необходимости совершенствования, или, даже более правильным

будет, дополнения, сложившейся практики выращивания интродуцента послужил факт снижения урожайности в семилетних посадках, обусловленный увеличением доли старовозрастных (более 3 лет) побегов в структуре кроны кустов и общим уменьшением длины продуктивной части ветвей [5].

Согласно литературным данным, для восстановления и поддержания высокой продуктивности естественных фитоценозов *V. angustifolium* в США периодически проводят омоложение полога путем выжигания или скашивания надземной части кустов [6–9]. Обратим внимание, что и для аборигенной голубики топяной (*V. uliginosum* L.), сходной с голубикой узколистной по габитусу, в 90-х годах XX столетия также было рекомендовано периодическое полное удаление надземной части кустов для повышения урожайности ягодника [10]. Следовательно, и в нашем конкретном случае вполне целесообразным представляется проведение данного хозяйственного мероприятия в посадках голубики узколистной для восстановления их урожайности. Продолжая анализ литературных источников, отметим, что перенять опыт ухода за голубикой высокорослой, характеризующейся иной структурой и большей длительностью жизни надземных скелетных осей растения, не представляется возможным, так как в случае данного интродуцента используется кардинально иной подход – проводится преимущественно ежегодное выборочное удаление побегов [11].

Таким образом, перед нами встают две задачи. Первая – обоснование организационно-технических элементов омолаживающей обрезки голубики узколистной на площади выработанного торфяного месторождения в Белорусском Поозерье, вторая – оценки успешности данного хозяйственного мероприятия в плане восстановления, а в идеале даже и повышения урожайности.

Основная часть. Обратим внимание, что, помимо снижения урожайности на седьмой год после создания плантации, принятие окончательного решения о необходимости проведения омоложения полога голубики узколистной именно на следующий год было обусловлено еще и крайне неудовлетворительным внешним состоянием растений в восьмилетних посадках. Весной 2016 г. при визуальном осмотре растений 26 изучавшихся форм вида было установлено, что на долю старовозрастных (более 3 лет) побегов приходится от 65 до 90% от общего объема надземной части кустов. У большинства генотипов однолетние побеги формирования не превышали 5% в общей структуре кроны кустов. О слабой интенсивности ростовых про-

цессов в прошлом году свидетельствовал и тот факт, что прирост побегов ветвления варьировался в пределах 1–3 и реже 5 см и более. Общее количество цветковых почек на кустах по сравнению с предыдущим годом сократилось в 1,3–2,0 раза. Также уменьшились линейные размеры цветковых почек: их длина и ширина, сократилось с 8–10 шт. до 3–4 шт. количество цветков в соцветии. На фоне негативных возрастных и морфологических изменений, описанных выше, у растений наблюдалось также запаздывание на 5–10 дней фенологических фаз развития: набухания вегетативных и генеративных почек, бутонизации и цветения, а также распускания листьев. При этом именно весной 2016 г. состояние надземной вегетативной сферы растений резко и кардинально ухудшилось, в то время как даже осенью 2015 г. оно было удовлетворительным и не требовало принятия каких-либо мер.

В первую очередь при обосновании организационно-технических элементов омолаживающей обрезки голубики узколистной необходимо выбрать наиболее оптимальный способ проведения данного хозяйственного мероприятия. В связи с высокой пожарной опасностью, присущей площадям выработанных верховых торфяников, недопустимыми при проведении омоложения полога голубики узколистной в нашем случае будут огневые способы удаления надземной части кустов, широко применяемые в Северной Америке на минеральных почвах [12]. В то же время отсутствие механических препятствий и, что особенно важно, камней на площади выработанного торфяного месторождения создает условия для успешного проведения омоложения полога путем срезания побегов. Исключительно органическая природа субстрата и отсутствие минеральных частиц будут способствовать длительному сохранению высоких режущих свойств лезвий орудий, что неоднократно подтверждалось нами при использовании секатора даже при перерезании корневищ под слоем торфа.

Обратим внимание на разнообразие подходов при проведении омолаживающей обрезки голубики узколистной. Так, эстонский фермер Toomas Jaadla при осуществлении данного хозяйственного мероприятия оставляет «пеньки» высотой 7–10 см (рис. 1). По его мнению, определенный запас пластических веществ, содержащийся в старой древесине, способствует более быстрому появлению побегов ветвления и, соответственно, восстановлению полога ягодника. Следует обратить внимание, что уменьшение длины побегов голубики в Эстонии осуществляется постепенно путем срезания отрезков ветвей величиной 1–2 см с таким рас-

четом, чтобы они могли беспрепятственно проникнуть на поверхность субстрата. При таком подходе не только полностью отпадает необходимость удаления побегов с участка плантации, но и не происходит потери минеральных веществ, содержащихся в древесине, что очень важно в условиях органического ведения голубичного хозяйства.



Рис. 1. Побеги ветвления на необрезанной 10-сантиметровой части побега формирования голубики узколистной в Эстонии

Кардинально иного подхода при проведении обрезки придерживаются американские фермеры, стремящиеся срезать побеги как можно ниже у поверхности земли. Соблюдение данного условия вызвано желанием активизации побегообразовательных процессов исключительно из корневищ, обеспечивающих появление побегов, характеризующихся более высокой ягодной продуктивностью по сравнению с ветвями, берущими свое начало из боковых почек [13]. Для выполнения работ используются преимущественно навесные ротационные кусторезы различной ширины в зависимости от микрорельефа участка. При измельчении растительных остатков рабочими агрегатами отпадает необходимость удаления срезанных побегов за пределы зарослей ягодника. Возможность полного удаления старых побегов с последующим восстановлением заросли ягодника исключительно побегами новой генерации оп-

ределяет, на наш взгляд, преимущество концептуального подхода вышеупомянутого способа проведения омолаживающей обрезки и в Белорусском Поозерье как ввиду преимущества с точки зрения более выгодного фитосанитарного состояния посадок, так и простоты выполнения последующих технологических операций в однородном по структуре полого ягодника (внесение удобрений и сбор ягод).

Вторым важным моментом технологии обрезки является обоснование сроков проведения данного хозяйственного мероприятия на севере Беларуси. Согласно литературным данным, обрезку следует проводить в период глубокого покоя растений [13, 14]. При этом имеются две диаметрально противоположные точки зрения на данный счет. По одной из них осуществлять обрезку лучше поздней осенью с целью элиминации возобновительных процессов из оставшихся не срезанными частей побегов в результате их последующего вымерзания в зимний период [14]. По другой – предпочтительнее ранняя весенняя обрезка, так как наличие полого ягодника зимой обеспечивает лучшее снегонакопление и, соответственно, более надежную защиту корневищ от повреждения отрицательными температурами [13]. С учетом динамики сезонного развития голубики узколистной оптимальные сроки для проведения данного агротехнического мероприятия будут ограничены: осенью – периодом с начала ноября и до появления снежного покрова в декабре, весной – с середины марта и до начала апреля. В свою очередь, учитывая особенности гидрологического режима выработанного торфяника, все работы желательно выполнить весной после схода снежного покрова, но до оттаивания верхнего замерзшего слоя торфяного субстрата, обеспечивающего возможность беспрепятственного передвижения по участку. В осеннее-зимний период выполнение данного хозяйственного мероприятия также возможно, но только в случае отсутствия избыточного увлажнения.

Третьим организационно-техническим элементом омолаживающей обрезки является комплекс агротехнических мероприятий по уходу за растениями, включающий внесение минеральных удобрений, гербицидов [15], а также проведение защитных обработок полого ягодника от болезней и вредителей [15]. В нашем случае имеет смысл продолжить практику внесения минеральных удобрений для более быстрого восстановления полого ягодника после проведения омолаживающей обрезки. Проведение других агротехнических мероприятий следует планировать по мере необходимости противодействия или минимизации

негативного воздействия на кустарничек факторов различной природы.

Практически омолаживающая обрезка голубики узколистной в Белорусском Поозерье была осуществлена нижеописанным способом. Скашивание надземной части растений проводилось с использованием мотокустореза фирмы Stihl FS 400-K с пильным диском, предназначенным для удаления сучковатых кустарников и тонких деревьев заподлицо с поверхностью земли (рис. 2). В отдельных случаях пильный диск заглублялся на 1–2 см ниже поверхности субстрата. Обратим внимание, что вся срезанная надземная часть растений материнских и парциальных кустов была удалена и вынесена за пределы площади посадок. На поверхности торфа был оставлен только слой толщиной 0,5–1,0 см прошлогодних листьев, в той или иной степени укрывавший поверхность срезов (рис. 3).



Рис. 2. Рабочий с мотокусторезом фирмы Stihl FS 400-K при проведении омолаживающей обрезки голубики узколистной (05.05.2016 г.)

Скашивание было проведено у всех растений 25 форм голубики узколистной, за исключением двух кустов каждого генотипа, оставленных в качестве контроля. Каждая форма на участке была представлена 10–25 растениями. И только у формы 24, по габитусу сходной с голубикой высокорослой, обрезка не проводилась.

Определенное нарушение технологии омолаживающей обрезки заключалось в отклонении от оптимальных сроков ее проведения: 05.05.2016 г. в период массового набухания и распускания вегетативных и генеративных почек, а у отдельных форм – в начале фазы распускания листьев и цветения.

После проведения омолаживающей обрезки было выполнено внесение минерального удобрения Растворин марки А 1. Состав удобрения:

N – 8%, P – 6%, K – 28%, MgO₃ – 3%, B – 0,01%, Mo – 0,001%, Mn – 0,1%, Cu – 0,01%, Zn – 0,01%. Удобрение равномерно вносилось в полосы, ранее занимаемые горизонтальной проекцией надземной части срезанных растений. Заделка удобрения не производилась. Норма расхода препарата в среднем составила 90 г на куст (высаженный материнский куст и образованные им новые парциальные кусты).



Рис. 3. Растения форм голубики узколистной 16, 9 и 10 после проведения омолаживающей обрезки (05.05.2016 г.)

18.07.2016 г. был проведен второй прием подкормки с применением комплексного минерального удобрения Фертика «Осеннее». Состав удобрения: N – 4,8%, P – 20,8%, K – 31,3%, Ca – 0,55%, MgO – 0,5%, S – 0,7%, B – 0,09%, Cu – 0,08%, Fe – 0,16%, Mn – 0,16%, Mo – 0,08%, Zn – 0,09%. Норма расхода препарата составила 17 г на куст.

Комплекс агротехнических мероприятий по уходу за растениями в 2017 г., как и в предыдущие годы, включал внесение комплексного минерального удобрения Растворин марки А в среднем количестве 17 г на один материнский куст с системой корневищ. Внесение удобрения осуществлялось в ряды растений с частичным захватом междурядий посадок.

Для оценки успешности восстановления надземной вегетативной сферы растений после проведения омолаживающей обрезки в конце вегетационных сезонов 2016 и 2017 гг. осуществлялось измерение линейных показателей кустов 25 форм голубики узколистной. Диаметр горизонтальной проекции кроны определяли как среднее арифметическое двух взаимно перпендикулярных замеров в направлениях: север – юг, запад – восток. Высоту кустов устанавливали на основании средней арифметической высоты пяти побегов из центральной части куста. Значение интегрированного показателя –

объем кроны куста – вычисляли по формуле Либстера:

$$V = \frac{hd^2}{1,92}.$$

После проведения омолаживающей обрезки в конце вегетационного сезона 2016 г. у 8 из 25 форм голубики узколистной по сравнению с аналогичным периодом 2015 г. наблюдалось уменьшение диаметра горизонтальной проекции кроны кустов в пределах 0,9–12,1 см. В среднем значение рассматриваемого показателя снизилось на 5,0 см. У подавляющего же числа форм (68,0%) наблюдалось увеличение диаметра горизонтальной проекции кроны куста в пределах 1,0–16,2 см. В среднем значение рассматриваемого показателя в 2016 г. по сравнению с 2015 г. увеличилось на 5,7 см. Уменьшение диаметра горизонтальной проекции кроны кустов у ряда форм интродуцента можно объяснить изменением пространственного расположения периферийных побегов с горизонтального, распростертого, на более вертикальное после обрезки. В то же время характерное для подавляющего числа форм увеличение диаметра горизонтальной проекции крон связано с активным появлением новых парциальных кустов.

У 11 из 25 форм, или 44,0%, рассматриваемого формового разнообразия голубики узколистной высота растений после обрезки в 2016 г. по сравнению с аналогичным периодом 2015 г. уменьшилась на 0,7–14,7 см. В среднем значение рассматриваемого показателя снизилось после проведения обрезки на 7,4 см. У 13 из 25 форм, или 52,0%, рассматриваемого формового разнообразия наблюдалось увеличение высоты кустов на 0,4–11,4 см. В среднем значение рассматриваемого показателя в 2016 г. по сравнению с 2015 г. увеличилось на 4,0 см. И только у формы 25 значение высоты куста осталось неизменным.

В плане оценки успешности возобновления надземной вегетативной сферы растений наибольший интерес представляет сопоставление величины значения объема кроны кустов до и после проведения хозяйственного мероприятия. У подавляющего большинства форм – 17 из 25 – значение рассматриваемого показателя в 2016 г. по сравнению с аналогичным периодом 2015 г. увеличилось на 1,3–66,0 дм³ и только у восьми форм наблюдалось его уменьшение в пределах 0,2–70,3 дм³. На основании того факта, что среднее значение объема кроны кустов 25 форм голубики узколистной в 2016 г., составившее 270,2 дм³, превысило значение показателя 2015 г., равное 266,1 дм³, можно с

уверенностью утверждать о полном восстановлении надземной вегетативной сферы голубики узколистной в течение одного вегетационного сезона после проведения омолаживающей обрезки (рис. 4). При этом проведение хозяйственного мероприятия благоприятно повлияло на показатели надземной вегетативной сферы растений, что выразилось в преимущественном увеличении диаметра горизонтальной проекции кроны и в несколько меньшей степени высоты кустов.



Рис. 4. Растения голубики узколистной форм 16, 9 и 10 после проведения омолаживающей обрезки в конце вегетационного сезона (22.11.2016 г.)

Ростовые процессы двух контрольных растений каждой из 25 форм, оставленных без обрезки в 2016 г., были отягощены формированием урожая ягод, что отразилось на величине основных показателей надземной вегетативной сферы кустов. Увеличение диаметра горизонтальной проекции кроны кустов в пределах 2,1–9,3 см наблюдалось у 18 из 25 форм. В среднем значение рассматриваемого показателя увеличилось на 4,7 см. Но ввиду того, что данное положительное изменение было обусловлено преимущественно плагиотропизацией периферийных побегов, утверждать о развитии растений в горизонтальном направлении в данном вегетационном сезоне будет некорректно. У семи форм диаметр горизонтальной проекции уменьшился на 2,3–5,4 см. При этом, помимо имевшего место отмирания побегов формирования и ветвления по периферии кроны кустов, основное сокращение последних, а в случае побегов формирования перерождение из средней части, было отмечено преимущественно в центре кроны куста. Высота растений без обрезки в 2016 г. существенным образом не изменилась и находилась в пределах значений, установленных в 2015 г., с отклонением не более 3,0 см в положительную и отрицательную стороны. В целом можно констатировать силь-

ное затухание ростовых процессов у контрольных растений на восьмой год после посадки. Последний факт подтверждает необходимость проведения омолаживающей обрезки для активизации продукционных процессов в вегетативной сфере для формирования основы будущей урожайности.

В 2017 г. у всех растений с проведением омолаживающей обрезки наблюдалось увеличение диаметра горизонтальной проекции кроны кустов по сравнению с 2016 г. в пределах 0,1–41,8 см. В среднем значение рассматриваемого показателя увеличилось за год на 14,8 см. При этом у 20 из 25 форм голубики узколистной диаметр горизонтальной проекции кроны кустов превысил 100,0 см и, помимо визуального хорошо заметного смыкания кроны растений в ряду, у отдельных генотипов оно наблюдалось и в междурядьях посадок. Высота растений у 21 из 25 форм с проведением омолаживающей обрезки в 2017 г. по сравнению с 2016 г. увеличилась на 0,2–10,2 см. В среднем значение рассматриваемого показателя возросло на 3,2 см. У четырех форм высота уменьшилась на 0,3–1,1 см. О высокой интенсивности ростовых процессов свидетельствовало и увеличение по сравнению с предыдущим годом в 1,3 раза среднего объема надземной вегетативной сферы растений 25 форм голубики узколистной. В целом для надземной вегетативной сферы растений второй вегетационный сезон после проведения обрезки был отмечен дальнейшим увеличением всех показателей (рис. 5).

Положительная динамика изменения диаметра горизонтальной проекции кроны кустов была характерна в 2017 г. и для большинства растений без проведения омолаживающей обрезки в 2016 г. У 21 из 25 форм значение рассматриваемого показателя увеличилось на 0,6–31,4 см. В среднем диаметр горизонтальной проекции кроны кустов увеличился на 15,1 см. Снижение величины рассматриваемого показателя на 0,5–3,6 см наблюдалось только у четырех форм. При этом на фоне преобладающей положительной динамики изменения диаметра горизонтальной проекции кроны кустов качественная трансформация структуры побегов оставила желать лучшего. На смену отмирающей части побегов формирования и ветвления в середине куста появлялись новые побеги на периферии кроны куста, обеспечивающие основной успех территориальной экспансии. Немалую роль играли в увеличении диаметра горизонтальной проекции кроны кустов и побеги прошлых лет, под тяжестью своего веса изменившие пространственное положение с вертикального на более горизонтальное или распростертое.



Рис. 5. Растения голубики узколистной форм 21, 16 и 9 на второй год после проведения омолаживающей обрезки (15.11.2017 г.)

В 2017 г. у 22 из 25 форм высота растений без обрезки по сравнению с 2016 г. увеличилась на 2,2–7,6 см. В среднем значение рассматриваемого показателя возросло на 4,7 см. При этом у 24 из 25 форм контрольные растения без проведения омолаживающей обрезки характеризовались на 1,9–17,8 см, в среднем на 8,4 см, большей высотой по сравнению соответствующими генотипами с проведением хозяйственного мероприятия. В свою очередь, даже с учетом большей высоты кустов растений без обрезки они характеризовались значительно меньшей длиной репродуктивной части побегов, которая составляла не более 85–90% их общей длины. У растений без обрезки практически полностью отсутствовали генеративные почки в нижней части кустов и их середине.

Описанные выше негативные качественные изменения показателей надземной вегетативной сферы растений без обрезки еще раз свидетельствуют о целесообразности полного удаления побегов с целью ускорения естественного процесса перерождения ягодника.

Особый интерес представляет оценка влияния омолаживающей обрезки на урожайность голубики узколистной. В 2016 г. учет плодоношения осуществлялся только на двух контрольных кустах без обрезки каждой из 25 форм. Урожайность формового разнообразия сильно варьировала и изменялась от 314,2 до 1320,2 г с куста. Среднее значение рассматриваемого показателя составило 760,1 г, что в 1,7 раза меньше аналогичного показателя 2015 г. Формирование урожая на периферии кроны куста – основная особенность плодоношения в 2016 г. (рис. 6).

В 2016 г. отдельные ягоды были замечены в нижней части кустов с проведением омола-

живающей обрезки. Данный факт подчеркивает важность качественного, без оставления «пеньков», проведения хозяйственного мероприятия для исключения потери пластических веществ на завязывание и формирование урожая во время роста и развития побегов новой генерации.



Рис. 6. Плодоносящий куст голубики узколистной формы 11 без обрезки в 2016 г. (20.07.2016)

В 2017 г. сложились крайне неблагоприятные погодные условия для формирования и созревания урожая ягод голубики узколистной. В первую очередь, отметим запаздывание на 1–2 недели наступления весеннего периода с характерными для него положительными температурами. Если в предыдущие годы наблюдения в I декаде мая формировались благоприятные погодные условия, способствующие обильному цветению голубики узколистной, то в 2017 г. в данный период большинство форм вида находились еще только в стадии набухания почек. Окончательный сход снежного покрова в 2017 г. был зафиксирован на плантации только 2-го мая, что крайне нехарактерно для среднемноголетней даты регистрации данного явления в регионе.

Возвратные заморозки в начале июня способствовали снижению продуктивности растений как в результате прямого воздействия, вызывая повреждение и гибель цветков и завязи, так и косвенно, полностью ограничивая деятельность опылителей, крайне необходимых для формирования качественного урожая ягод интродуцента. О сильном негативном проявлении абиотического фактора свидетельствовало большое количество ягод с характерным коричневым рубцом на синей коже (рис. 7), а также высокое распространение мелких и толстокожих, с небольшим содержанием жизнеспособных семян плодов голубики узколистной, образующихся обычно при самоопылении (рис. 8).



Рис. 7. Рубцы на коже ягод голубики узколистной, образовавшиеся в результате воздействия отрицательных температур весной



Рис. 8. Мелкие и толстокожие ягоды голубики узколистной, завязавшиеся в результате самоопыления

Частые и обильные осадки в период созревания урожая привели к поднятию уровня грунтовых вод и стали причиной частичного подтопления площади посадок (рис. 9). При этом избыточное увлажнение субстрата и высокая влажность воздуха способствовали в ряде случаев заражению побегов грибковыми заболеваниями и их последующей гибели.

Отметим смещение на более поздний срок дат начала и окончания созревания ягод голубики узколистной в 2017 г. по сравнению с предыдущими вегетационными сезонами. Если раньше, в 2013–2016 гг., основная заготовка ягод проводилась в период с I по III декаду июля, то в девятилетних посадках в связи с задержкой начала ростовых процессов весной сбор плодов был начат во II декаде июля и завершен только во II декаде августа. При этом сокращение периода вегетации не имело критического значения для полного созревания

урожая голубики узколистной, что подчеркивает основное преимущество данного интродуцента в Белорусском Поозерье по сравнению с голубикой высокорослой, характеризующейся большей потребностью в благоприятных днях для формирования и созревания плодов.



Рис. 9. Затопленный мелиоративный канал на площади выработанного торфяника

На фоне вышеописанных неблагоприятных погодных условий и метеорологических явлений вполне предсказуемыми выглядят низкие, изменяющиеся в пределах от 221 до 735 г, значения урожайности с куста по каждой из 25 форм голубики узколистной. При этом средняя величина рассматриваемого показателя для всего изучавшегося формового разнообразия, составившая 342,4 г, уменьшилась в 2,2 раза даже по сравнению с данными 2016 г. для растений без обрезки. В свою очередь и для последних в 2017 г. была характерна тенденция к резкому падению урожайности с куста до величины, близкой к значениям опытных вариантов 25 форм с проведением обрезки.

Слабая нагрузка растений голубики узколистной урожаем в вегетационном сезоне 2017 г. спровоцировала активизацию ростовых процессов у большинства форм вида, что создает предпосылку для повышения продуктивности посадок в 2018 г.

Заключение. Полное восстановление надземной вегетативной сферы растений голубики узколистной после проведения омолаживающей обрезки в течение одного вегетационного сезона свидетельствует об эффективности применения данного хозяйственного мероприятия с целью полной элиминации возрастных деструктивных изменений в кроне кустарничка, обеспечивая тем самым условия для восстановления ягодной продуктивности интродуцента в условиях Белорусского Поозерья.

Литература

1. Курлович Т. В., Босак В. Н. Голубика высокорослая в Беларуси. Минск: Беларуская навука, 1998. 174 с.
2. Kultuurmustikas ja selle kasvatamine Eestis / M. Starast [et al.]. Eesti Põllumajandusülikool, 2005. 65 p.
3. Культивирование голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) в Белорусском Поозерье / О. В. Морозов [и др.]. Минск: БГТУ, 2016. 195 с.
4. Влияние комплексного минерального удобрения на рост и развитие вегетативных органов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) в молодых посадках при возделывании на выработанных верховых торфяниках в Белорусском Поозерье / Д. В. Гордей [и др.] // Труды БГТУ. 2011. № 1: Лесное хоз-во. С. 79–82.
5. Шестилетняя динамика ягодной продуктивности *Vaccinium angustifolium* Ait. в Белорусском Поозерье // Лесное хозяйство: тезисы 81-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 01–12 февр. 2017 г. С. 104.
6. Black W. N. The effect of frequency of rotational burning on blueberry production. *Can. Journal Plant Sci.* 1963. No. 43. P. 161–165.
7. Ahlgren I. F., Ahlgren C. E. Ecological effects of forest fires. *Botanical Review.* 1960. No. 26. P. 458–533.
8. Trevett M. F. The integrated management of lowbush blueberry fields. A review and forecast. *Life Sci. and Agric. Exp. Sta. Bull.* 699, University of Maine, Orono, ME. 1972. 58 p.
9. Smith D. W., Hilton R. J. The comparative effects of pruning by burning or clipping on lowbush blueberries in northeastern Ontario. *Journal of Applied Ecology.* 1971. No. 81(3). P. 781–789.
10. Гримашевич В. В. Голубика (*Vaccinium uliginosum* L.) в Полесье и мероприятия по повышению ее продуктивности: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Минск, 1986. 222 с.
11. Рубан Н. Н. Голубика высокая. Рекомендации по выращиванию. Минск: ЭдитВВ, 2005. 16 с.
12. Козулин А. В., Тановицкая Н. И., Бамбалов Н. Н. Болота. Минск, 2017. 105 с.
13. Pruning wild blueberry fields Wild Blueberry Fact Sheet A.5.0. 4 p.
14. Tom DeGomez Production – 229-Pruning Lowbush Blueberry Fields. Fact Sheet. The University of Maine Extension. 1988. No. 2168. 5 p.
15. Ismail A. A., Smagula J. M., Yarborough D. E. Influence of pruning method, fertilizer and terbacil on the growth and yield of the lowbush blueberry. *Can. Journal Plant Sci.* 1981. No. 61. P. 61–71.

References

1. Kurlovich T. V., Bosak V. N. *Golubika vysokoroslaya v Belarusi* [Highbush blueberry in Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1998. 174 p.
2. Starast M., Kadri Karp, Taimi Paal, Rando Värnik, Ele Vool. Kultuurmustikas ja selle kasvatamine Eestis. *Eesti Põllumajandusülikool*, 2005. 65 p.
3. Morozov O. V., Gordey D. V., Sautkin F. V., Buga S. V., Yarmolovich V. A. *Kul'tivirovaniye golubiki uzkolistnoy (Vaccinium angustifolium Ait.) v Belorusskom Poozer'ye* [Cultivation of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) in the Belarusian Poozerye]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 195 p.
4. Gordey D. V., Morozov O. V., Filanchuk L. P., Kosobutskaya O. N. Influence of complex mineral fertilizer on growth and development of vegetative bodies of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) in young landings at cultivation on the developed riding peat bogs in the Belarusian Poozerye. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 1: Forestry, pp. 79–82 (In Russian).
5. Gordey D. V., Morozov O. V., Tereshkina N. V., Akimova E. A. Six-year dynamics of berry productivity *Vaccinium angustifolium* Ait. in the Belarusian Poozerye. *Tezisy 81-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhduнародnym uchastiem) ("Lesnoye khozyaystvo")* [Theses of the 81st Scientific. conferences of faculty, research staff and post-graduate students (with international participation) ("Forestry")]. Minsk, 2017. P. 104 (In Russian).
6. Black W. N. The effect of frequency of rotational burning on blueberry production. *Can. Journal Plant Sci.* 1963, no. 43, pp. 161–165.
7. Ahlgren I. F., Ahlgren C. E. *Ecological effects of forest fires. Botanical Review.* 1960, no. 26, pp. 458–533.
8. Trevett M. F. The integrated management of lowbush blueberry fields. A review and forecast. *Life Sci. and Agric. Exp. Sta. Bull.* 699, University of Maine, Orono, ME. 1972. 58 p.

9. Smith D. W., Hilton R. J. The comparative effects of pruning by burning or clipping on lowbush blueberries in northeastern Ontario. *Journal of Applied Ecology*. 1971, no. 81(3), pp. 781–789.
10. Grimashevich, V. V. *Golubika (Vaccinium uliginosum L.) v Poles'ye i meropriyatiya po povyshe-niyu eye produktivnosti: Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Blueberries (*Vaccinium uliginosum* L.) in Polesie and actions to increase its productivity. Abstract of thesis cand of agr. sci.]. Minsk, 1986. 222 p.
11. Ruban N. N. *Golubika vysokaya. Rekomendatsii po vyrashchivaniyu* [Highbush blueberry. Re-commendations for cultivation]. Minsk, EditVV Publ., 2005. 16 p.
12. Kozulin A. V., Tanovitskaya N. I., Bambalov N. N. *Bolota Belarusi* [Swamps of Belarus]. Minsk, 2017. 105 p.
13. Pruning wild blueberry fields Wild Blueberry Fact Sheet A.5.0. 4 p.
14. Tom DeGomez Production – 229-Pruning Lowbush Blueberry Fields. *Fact Sheet*. The University of Maine Extension. 1988, no. 2168. 5 p.
15. Ismail A. A., Smagula J. M., Yarborouch D. E. Influence of pruning method, fertilizer and terbacil on the growth and yield of the lowbush blueberry. *Can. Journal Plant Sci.* 1981, no. 61, pp. 61–71.

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, Белостокский технологический университет (17-200, г. Хайнувка, ул. Пилсудского, 8, Республика Польша). E-mail: a.marozau@pb.edu.pl

Терёшкина Надежда Васильевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры туризма природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nvtereshkina@gmail.com

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. Bialystok University of Technology (8, Pilsudskiego str., 17-200, Haynowka, Republic of Poland). E-mail: marozau@pb.edu.pl

Tereshkina Nadezhda Vasil'yevna – PhD (Biology), Senior Researcher, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nvtereshkina@gmail.com

Поступила 31.03.2018

УДК 639.111.1

А. И. Козорез

Белорусский государственный технологический университет

**КОСУЛЯ В БЕЛАРУСИ:
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

В статье рассмотрены вопросы состояния и развития популяции косули европейской (*Capreolus capreolus*) на территории Беларуси. Отдельно проанализированы такие важные популяционные характеристики, как динамика численности популяции, прирост, закономерности распространения вида по территории Беларуси, использование видом биотопов и основные закономерности данного использования, плотность популяции в различных регионах Беларуси, охотничье использование популяции косули, причины гибели косули. Динамика численности популяции косули рассмотрена за период, составляющий более 100 лет, что сделано впервые для данной территории. Обращено внимание на нерациональный принцип эксплуатации популяции косули, и в частности на высокую долю изъятия взрослых самцов косули. На основании полевых исследований установлены плотности населения популяций для различных по качеству местобитаний, что положено в основу методики по оценке потенциальной численности косули в охотничьих угодьях. Выявлены главные факторы, определяющие состояние популяции косули, такие, как условия зимовок, эксплуатация популяции, воздействие хищников на популяции и незаконной охоты.

Ключевые слова: косуля, динамика численности, плотность популяции.

A. I. Kozorez

Belarusian State Technological University

ROE DEER IN BELARUS: THE PRESENT STATE AND PROSPECTS OF USE

The article deals with the state and development of the European roe deer population (*Capreolus capreolus*) in Belarus. Some important population characteristics such as population dynamics, population growth, patterns of species distribution across the territory of Belarus, use of the species of biotopes and the main regularities of this use, population density in various regions of Belarus, hunting use of roe deer population, causes of roe deer mortality are considered. The dynamics of the roe deer population has been examined for more than 100 years, which was done for the first time for the territory under consideration. Attention is drawn to the irrational principle of exploitation of the roe deer population, and in particular to the high share of seizures of adult males. On the basis of field studies, population density was determined for populations of different habitats, which is the basis for the methodology for assessing the potential number of roe deer in hunting areas. The main factors determining the state of the roe deer population, such as the wintering conditions, the exploitation of the population, the impact of predators on the population and illegal hunting, are determined.

Key words: roe deer, population dynamics, population density.

Введение. Косуля европейская (*Capreolus capreolus*) – самый распространенный и многочисленный вид парнокопытных животных в Европе. В настоящее время общеевропейская популяция косули насчитывает 9,8–10,0 млн особей [1]. Доля белорусской популяции в общеевропейской составляет не более 0,8%, но данный вид имеет важное экологическое и охотхозяйственное значение.

Для характеристики состояния популяции косули в Беларуси использовались данные государственной статистической отчетности по охотничьему хозяйству. Также проводились исследования отдельных элементарных популяций (преимущественно на территории двух крупных природно-территориальных комплексов – Ружанская и Налибокская пуши) различными методами учета. В качестве основного

метода принимался учет зимних экскрементов, на основании которого проводился анализ биотопического распределения вида и предпочтения угодий. Данные биотопического распределения вида анализировались при помощи стандартных статистических методов, и в частности с использованием корреляционного и однофакторного дисперсионного анализов [2, 3].

Основная часть. Косуля, также как и лось, в течение исторического времени не исчезала с территории Беларуси. Однако этот вид подвергался жесткому антропогенному воздействию длительный период времени. Исходя из данных литературных источников, косуля являлась одним из главных объектов браконьерского промысла в Беларуси на протяжении многих веков. Г. Карцов отмечал, что около половины поголовья косуль Беловежской пу-

щи в летние месяцы уничтожались браконьерами на окраинах этого заповедного лесного массива [4]. В то же время косуля легко отзывалась на элементарные мероприятия по охране и быстро наращивала численность. После организации образцового охотничьего хозяйства на территории Беловежской пуши в 1901 г. здесь уже насчитывалось 5100 особей против 2960 особей в 1899 г.

Однако на остальной территории Беларуси численность этого вида оставалась крайне низкой. После Великой Отечественной войны численность косули в целом по Беларуси оценивалась в 1200–1500 особей. Хотя по устным сообщениям местного населения, к примеру, в Налибокской пуше косуля в послевоенные годы была весьма многочисленна и сокращение ее численности стало наблюдаться уже в 50-х гг. XX в. К 1974 г. численность этого вида достигла 18 000 особей и на протяжении 15 лет оставалась практически неизменной, колеблясь в пределах от 14 до 22 тыс. (рис. 1). В этот период средний прирост поголовья косули составил 2,3%. Рост численности косули начинает наблюдаться только с середины 90-х гг. XX в., несмотря на сильное браконьерское изъятие вида в этот период. К примеру, численность лося и оленя благородного в данный период резко сокращается. Уже в 2000 г. численность косули оценивалась в 51 тыс. особей. Наиболее активный рост наблюдается с 2006 г.

Однако он не носит равномерный характер. В 2013 и 2014 гг. наблюдается падение численности вида вследствие неблагоприятных условий зимовки зимой конца 2013 г. При этом необходимо отметить, что массовый падеж косули в 2013 г. произошел уже после проведения ежегодного учета численности, и поэтому снижение численности было зафиксировано только в 2014 г. при очередном учете. В связи с данным фактом следует признать, что погодно-климатические условия в виде суровых или неустойчивых зим являются одним из важных факторов, обуславливающих динамику численности и благосостояние популяций данного вида на территории Беларуси.

В 2016 г. фактическая численность косули была зафиксирована на уровне 82,1 тыс. особей, что составляет 146,8% к уровню 2006 г., 444,1% к уровню 1984 г. и 46,1% от оптимальной численности вида в Беларуси. Анализируя прирост вида с 2004 г., можно отметить, что этот показатель колеблется в пределах от 2,2% (2005 г.) до 20,4 (2016 г.), т. е. изменяется практически в 10 раз. Пики прироста численности приходились на 2008 г. (прирост – 18,2%) и 2016 г. (прирост – 20,4%). При этом минимум прироста наблюдался в 2005 г. (прирост – 2,2%), в 2006 г. (прирост – 4,8%), а также в 2014 г. (прирост – 5%). Но в то же время прирост численности косули остается достаточно низким и при возможных 30–40% достигает лишь 11,0% [5, 6].

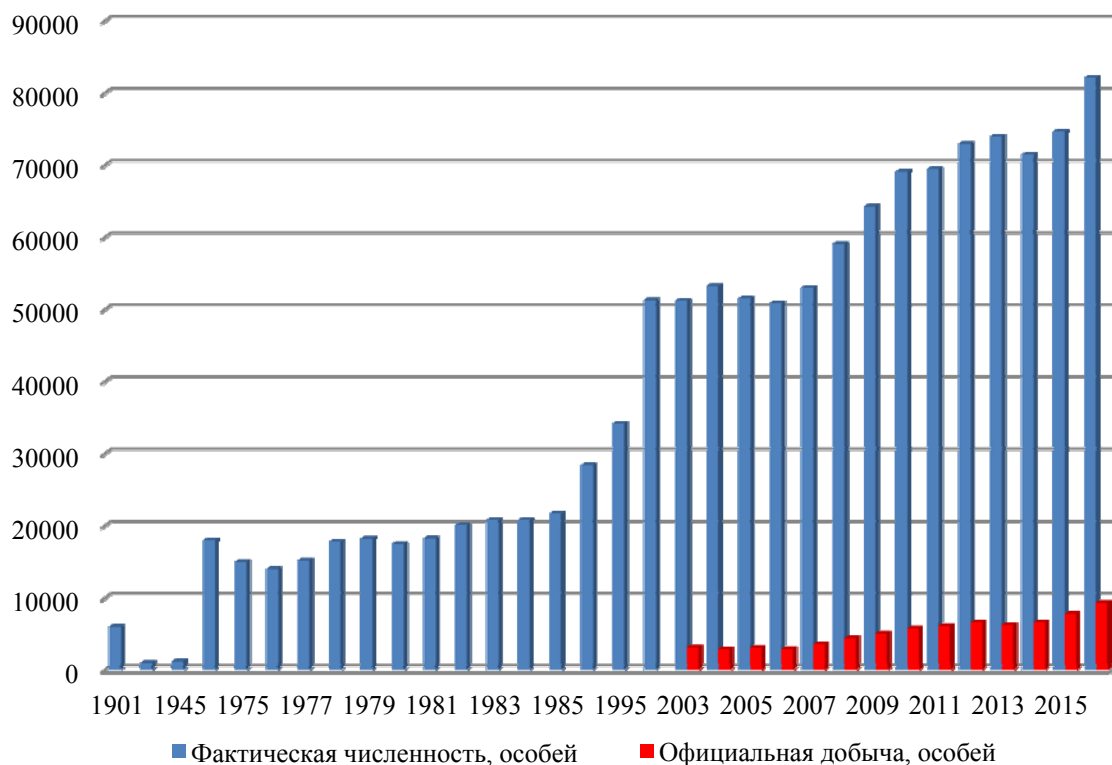


Рис. 1. Динамика численности косули в Беларуси

Распространение по территории Беларуси. Увеличение численности популяции косули теоретически стало возможным в результате смягчения условий зимовок на территории Беларуси. Однако это не подтверждается данными по территориальному распределению косули. Оно носит аazonальный характер, т. е. без четко выраженной зональности (рис. 2). Этот факт отмечался еще в конце 80-х гг. XX в. П. Г. Козло [7]. Наибольшей долей абсолютной численности отличается Минская, Гомельская и Витебская области. В Брестской и Гродненской областях наименьшая абсолютная численность косули, что не согласуется с особенностями среды обитания.

С определенной степенью достоверности можно лишь утверждать, что относительная численность, или плотность, популяции косули несколько выше в западной части страны, и в частности на территории Гродненской области (табл. 1). Это обуславливается более благоприятными климатическими факторами (высота снежного покрова). В то же время низкие плотности популяции косули в юго-западной части страны могут объясняться лишь чрезмерной антропогенной нагрузкой на популяцию, а в отдельных районах (беловежско-ружанские лесные массивы) и высокой степенью конкурентных отношений с благородным оленем.

Биотопическое распределение. Структура биотопического распределения косули европейской сильно варьирует, причем как в зави-

симости от биотопа, так и от года. В связи с этим четкое представление о распределении данного вида в лесных охотничьих угодьях получить довольно сложно. Косули ввиду свойственной им оседлости распределяются на пастбищах стохастически [8, 9], т. е. подвержены случайным законам распределения.

Косуля европейская показывает достаточно полное освоение лесных охотничьих угодий – до 98,2%.

На распределение косули европейской оказывают влияние формационный состав ($F = 2,84$, $p = 0,04$) и типологическая структура лесов ($F = 3,31-7,66$, $p = 0,01-0,00$). Относительно стабильно (из года в год) косулей используется лишь сосновая формация ($K_k = 0,34-3,38$), а среди типов леса – сосняки черничные ($K_k = 1,05-6,67$). Степень использования березняков высока ($K_k = 0,24-1,75$), но не столь стабильна как для сосняков, и определяется главным образом глубиной снежного покрова, формируемого в течение зимы. По убыванию степени значимости обследованные формации для косули европейской можно расположить в следующем порядке: сосняки ($K_k = 0,34-3,38$); березняки ($K_k = 0,24-1,75$); ельники ($K_k = 0,29-1,07$); черноольшанники ($K_k = 0,33-1,01$). Среди наиболее предпочитаемых косулей типов леса можно выделить черничную серию, а также богатые по условиям местопроизрастания серии типов леса, такие как кисличные, крапивные и снытевые [10–12].

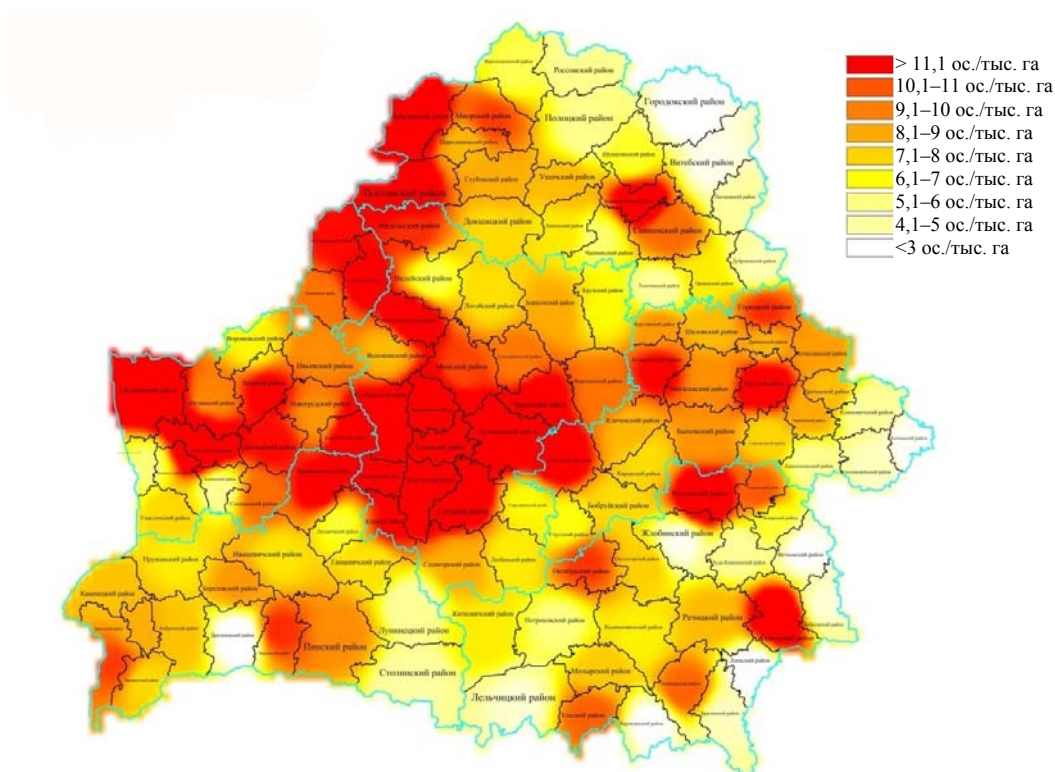


Рис. 2. Плотность популяции косули в Беларуси

Таблица 1

Плотность населения косули в разрезе административных областей Беларуси

Административная область	Максимальная плотность популяции, ос./тыс. га	Минимальная плотность популяции, ос./тыс. га	Средняя плотность популяции, ос./тыс. га
Витебская	23,3	0,4	8,8
Могилевская	43,6	5,0	10,0
Гомельская	16,5	4,5	9,9
Минская	33,5	6,4	11,4
Гродненская	35,0	10,4	14,5
Брестская	21,4	4,1	9,5

Территориальное распределение косули европейской имеет высокую связь с запасами древесно-веточных кормов, и в первую очередь лиственных пород (косуля $r = 0,61$, $p = 0,0214$). Косуля характеризуется наиболее низкими связями между биотопическим распределением и запасами кормов, поскольку для данного вида на первое место выходит не запас кормов в зимний период, а их доступность.

На биотопическое распределение косули также оказывает влияние и высота снежного покрова. При высоте снежного покрова выше 25 см степень посещения лиственных насаждений, вырубок, полей и насаждений со значительными запасами кустарничковых кормов (черничная серия типов) снижается.

Косуля предпочитают мозаичные угодья с высокой протяженностью опушечной линии. Встречаемость этого вида увеличивается при росте числа биотопов на 1 км ($r = 0,67$, $p = 0,00$), а также уменьшается при удалении от открытой опушки ($r = -0,36$, $p = 0,0078$).

Учитывая особенности освоения местообитаний косулей, в результате которых данный вид осваивает в Беларуси преимущественно лесные угодья, а также прилегающие к ним полевые угодья, существует возможность оценить территорию обитания косули. Она может быть оценена в 7,7–8,3 млн га. В настоящее время охотничье хозяйство на косулю ведется на площади 8,2 млн га.

Плотность популяции косули европейской в Беларуси. Плотность популяции косули колеблется в широких пределах. Согласно статистическим данным максимальная плотность популяции в 2016 г. была зафиксирована для Мстиславльской РОС РГОО БООР – 43,6 ос./тыс. га. В то же время на северо-востоке Беларуси (охотпользователи: ЧУП «Поозерье», ПТУП Военохот «Дретуньское», ГЛХУ «Суражский лесхоз») этот вид встречается единично и плотность населения популяции не превышает 0,4–1 ос./тыс. га. Для большинства охотпользователей плотность популяции косули колеблется в пределах 10 ос./тыс. га.

Следует отметить, что плотность населения косули европейской значительно уступает тако-

вым для западноевропейских стран. Так, в отдельных охотничьих хозяйствах Польши плотность населения косули достигает 150 ос./тыс. га для общей площади охотничьих угодий, которые включают лесные и полевые угодья [13, 14], для Австрии – 270 ос./тыс. га лесных угодий [15].

Исследования, проведенные на отдельных стационарах, показали, что плотность населения косули и в условиях Беларуси может достигать высоких значений. В табл. 2 приведены результаты расчета фактически сложившейся плотности популяций косули европейской на двух стационарах исследования.

Таблица 2

Фактически сложившаяся плотность населения косули европейской на стационарах исследования

Категория угодий	Плотность населения, ос./тыс. га			
	2012 г.	2011 г.	2010 г.	2009 г.
Стационар «Налибокская пуца»				
Хорошие	52	32	73	41
Средние	15	8	23	10
Плохие	2	3	7	4
Стационар «Ружанская пуца»				
Хорошие	36	–	45	22
Средние	7	–	8	5
Плохие	0	–	3	2

Как видно из приведенных расчетов, максимальная фактическая плотность населения косули европейской в лучших угодьях колебалась в пределах от 31 ос./тыс. га до 74 ос./тыс. га в Налибокской пуце (в среднем 53 ос./тыс. га) и в пределах от 22 ос./тыс. га до 46 ос./тыс. га в Ружанской пуце (в среднем 49 ос./тыс. га). Максимум плотности населения косули отмечен в 2010 г. в Налибокской пуце. В это время элементарная популяция данного вида находилась на пике своего развития. Средние угодья характеризовались плотностью населения косули европейской в Налибокской пуце в пределах от 8 ос./тыс. га до 23 ос./тыс. га (в среднем 14 ос./тыс. га), в Ружанской пуце –

от 5 ос./тыс. га до 8 ос./тыс. га (в среднем 7 ос./тыс. га). Для плохих угодий фактически сложившиеся плотности населения косули европейской в Налибокской пушце находились в пределах от 2 до 7 ос./тыс. га (в среднем 4 ос./тыс. га), а в Ружанской пушце – от 0 до 3 ос./тыс. га (в среднем 2 ос./тыс. га).

Таким образом, плотность населения косули европейской в Беларуси значительно ниже, чем в европейских странах. В то же время следует заключить, что условия Беларуси менее благоприятны для обитания косули европейской, чем условия западноевропейских стран. При максимальной плотности населения косули европейской, зафиксированной для стационара Налибокская пушца в 2010 г., в условиях суровой зимовки 2009/2010 г. наблюдался значительный ее отход [16]. Учитывая, что элементарные популяции косули на территории РЛЗ «Налибокский» существуют без поддержки человека, можно заключить, что плотность населения этого вида 75 ос./тыс. га является верхним естественным пределом плотности населения, превышение которого возможно лишь при активной поддержке в виде биотехнических мероприятий. Следовательно, для лучших лесных угодий плотность населения косули может составлять 75 ос./тыс. га, а при проведении биотехнических мероприятий может быть еще выше. Для средних угодий плотность населения может быть определена в пределах 20–25 ос., а для плохих – от 2 до 7 ос./тыс. га.

Таким образом, принимая во внимание имеющуюся расчетную территорию обитания, а также потенциально возможные плотности популяций косули для различных местообитаний, можно оценить потенциально возможную численность вида для Беларуси (по данным автора, от 130 до 162 тыс. ос.). Согласно данным охотоустройства в настоящий момент оптимальная численность косули оценивается в 137 тыс. ос. Несмотря на широкую разбежку в возможной численности косули в Беларуси, необходимо отметить, что даже от нижнего возможного уровня фактическая численность вида отстает в 1,6 раза.

Использование ресурсов. Косуля является одним из излюбленных и наиболее многочисленных объектов охоты в Беларуси среди копытных. После депопуляции дикого кабана при профилактике АЧС косуля европейская заняла основное место в добыче охотников. За последние 14 лет официальная добыча вида увеличилась с 3 тыс. ос. в 2003 г. до 9 тыс. ос. в 2016 г. или выросла практически в 3 раза. При этом процент изымаемых косуль из популяции вырос с 6,1 до 11,4. В 2016 г. добыча косули

достигла своего исторического максимума в 9329 ос., при этом было добыто 1387 самок (14,9%), 4886 самцов (52,4%) и 3056 сеголетков (32,8%). Исходя из имеющихся данных можно заключить, что изъятие производится с явным перевесом в сторону самцов. Трофейные самцы косули европейской – наиболее предпочитаемые и доступные среди остальных видов трофеев копытных. На них существует повышенный спрос, что, в свою очередь, и вызывает чрезмерный отстрел данной половозрастной группы косуль. Также необходимо отметить, что охота на взрослых самцов косули, в том числе трофейных, начинается с 15 мая, т. е. еще задолго до гона у животных. По этой причине значительное число самцов отстреливаются до гона, без возможности участия в размножении. Такой дисбаланс в отстреле может оказывать негативное влияние на половую структуру популяции и в целом на ее состоянии.

Несмотря на наиболее высокую численность среди копытных Беларуси, косуля европейская не является лидером по уровню нерациональных потерь. Официальные нерациональные потери вида в виде гибели в ДТП, по причине браконьерства и прочим причинам составили всего 0,5% от общей численности. В то время как для лося этот показатель равен 1,5%. Доля браконьерской добычи в нерациональных потерях составляет 9% – это самый высокий показатель для копытных.

Очевидно, что значительное число фактов нерациональной гибели косуль остаются не выявленными. Специальное изучение неохотничьих потерь популяций косули в Беларуси показало несколько иную ситуацию, чем отображается в официальной статистике. Основные причины гибели косули по данным собранных материалов: хищники, браконьерство и дорожно-транспортные происшествия, которые в совокупности составляют 86% всех зарегистрированных случаев гибели косули. Из 79 зафиксированных и изученных случаев гибели косули от хищников на долю волка отнесено 26 случаев (32,9%), рыси 10 (12,7%), в 43 случаях (54,4%) хищник не был установлен. Браконьерство составляет 29% случаев зарегистрированной гибели косули. Основная масса браконьерского отстрела косули приходится на сезон охоты на пушных животных. Из 40 проанализированных случаев браконьерской добычи косули, выявленных Государственной инспекцией по охране животного и растительного мира, 17 случаев (42,5%) добычи косули произошли при охоте на пушных животных.

Выводы. Косуля европейская является одним из самых многочисленных и самых добываемых видов диких копытных Беларуси. Чис-

ленность популяции ее в настоящее время растет и добыча достигла исторического максимума. Однако прирост популяции значительно ниже возможного. Причина это – ряд факторов, отрицательно воздействующих на благосостояние популяции. К ним следует отнести риски, связанные с неблагоприятными для вида условиями зимовок, несбалансированный отстрел, высокие потери от хищников и браконьерства.

Очевидно, что для более рационального использования популяции косули необходимо принять ряд мер. К ним нужно в первую очередь отнести комплекс мер по оптимизации подходов в добыче данного вида: сбалансированное изъятие вида, т. е. уменьшение доли

изымаемых самцов. Вследствие того, что вид является уязвимым к условиям зимовок, необходимо основной упор делать на изъятие наиболее подверженной падежу группе животных, а в частности сеголеткам. Одной из обязательных мер следует признать выведение значительной добычи косули из «черной» сферы. На наш взгляд, это кроется не в запретительных мероприятиях, а наоборот, в повышении доступности добычи вида, в том числе и путем выведения отдельных половозрастных групп из разряда нормируемых видов, и в частности сеголетков. Однако такие меры необходимо проводить только при условии повышения культуры и самосознания охотников.

Литература

1. Deinet S., Wildlife comeback in Europe: The recovery of selected mammal and bird species. Final report to Rewilding Europe by ZSL, BirdLife International and the European Bird Census Council. London, UK: ZSL., 2013. 310 p.
2. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. 3-е изд. Минск: Выш. шк., 1973. 320 с.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
4. Карцов Г. П. Беловежская пуца. Санкт-Петербург: Арт. завод А. Ф. Маркса, 1903. 414 с.
5. Данилкин А. А. Олени. М.: ГЕОС, 1999. 552 с.
6. Данилкин А. А. Косули Евразии: анализ населения // Охота и охотничье хозяйство. 1989. № 9. С. 14–15.
7. Козло П. Г., Дунин В. Ф. Биотехнические мероприятия для копытных зверей как основа повышения эффективности охотничьего хозяйства Белоруссии. Минск: БелНИИТИ, 1989. 48с.
8. Русанов Я. С., Сорокина Л. И. Копытные и лес. М.: Лесная пром-сть, 1984. 128 с.
9. Данилкин А. А. Пространственно-этологическая структура популяций косуль // Охота и охотничье хозяйство. 2011. № 3. С. 6–9.
10. Козорез А. И. Распределение копытных в лесных охотничьих угодьях на примере Ружанской пуци // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 104–107.
11. Козорез А. И. Зимнее распределение копытных в лесных охотничьих угодьях северо-восточной части Налибокской пуци // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и X зоологической конф., Минск, 18–20 нояб. 2009 г.: в 2 ч. Сб. науч. работ под общ. ред. М. Е. Никифорова. Минск, 2009. Ч. 2. С. 438–441.
12. Козорез А. И. Сравнительная характеристика зимнего биотопического распределения оленей Ружанской и Налибокской пуц // Наука о лесе XXI века: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Ин-та леса НАН Беларуси, Гомель, 17–19 нояб. 2010 г. / Ин-т леса НАН Беларуси; редкол.: А. И. Ковалевич [и др.]. Гомель, 2010. С. 528–531.
13. Kossak S. Raport o stanie zwierzyny w Puszczy Bialowieckiej w pierwszym kwartyale 1999, 2001 roku. Bialowieza. 2001. 26 s.
14. Frackowiak W., Wojciuch-Ploskonka M. Game management of the wild ungulate populations in northeastern Poland // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию ВНИИОЗ им. Б. М. Житкова, Киров, 22–25 мая 2012 г. / ГНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова Россельхозакадемии; под общ. ред. В. В. Ширяева. Киров, 2012. С. 137–138.
15. Wolfe M. L., Berg F.-Ch. Deer and forestry in Germany. Half a century after Aldo Leopold. A contemporary look at the correlation between wildlife and forest damage. *Jornal Forest*. 1988. Vol. 86. No 5. P. 25–31.
16. Козорез А. И. Структура непроизводственных потерь охотничьих животных в Беларуси // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2011. Вып. XIX. С. 97–98.

References

1. Deinet S. Wildlife comeback in Europe: The recovery of selected mammal and bird species. Final report to Rewilding Europe by ZSL. *BirdLife International and the European Bird Census Council*. London, UK: ZSL., 2013. 310 p.

2. Rokitskiy P. F. *Biologicheskaya statistika* [Biological statistics]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1973. 320 p.
3. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysh. shk. Publ., 1980. 293 p.
4. Kartsov G. P. *Belovezhskaya pushcha* [Bialowieza Forest]. St. Petersburg, Art. zavod im. A. F. Marksa Publ., 1903. 414 p.
5. Danilkin A. A. *Olen'i* [Deers]. Moscow, GEOS Publ., 1999. 552 p.
6. Danilkin A. A. Eurasian roe deer: analysis of the population. *Okhota i okhotnich'ye khozyaystvo* [Hunting hunting economy]. 1989, no. 9, pp. 14–15 (In Russian).
7. Kozlo P. G., Dunin V. E. *Biotekhnicheskkiye meropriyatiya dlya kopytnykh zverey kak osnova povysheniya effektivnosti okhotnich'yego khozyaystva Belorussii* [Biotechnical measures for ungulate animals as a basis for increasing for efficiency of the huntings economy of Belarus]. Minsk, BelNIINTI Publ., 1989. 48 p.
8. Rusanov Ya. S., Sorokina L. I. *Kopytnyye i les* [Ungulates and forest]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 128 p.
9. Danilkin A. A. Spatial-ethological structure of populations of roe deer. *Okhota i okhtnich'ye hozyaystvo* [Hunting hunting economy]. 2011, no. 3, pp. 6–9 (In Russian).
10. Kozorez A. I. Distribution of ungulates in forest hunting grounds as exemplified by the Ruzhanskaya Pushcha. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. Ser. I, Forestry, 2009, issue XVII. pp. 104–107 (In Russian).
11. Kozorez A. I. [Winter distribution of ungulates in forest hunting grounds in the northeastern part of the Nalibokskaya Pushcha]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. i X zoologicheskoy konf. ("Problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispol'zovaniya biologicheskikh resursov")* [Materials Intern. scientific-practical. conf. and the Zoological Conf. ("Problems of conservation of biological diversity and use of biological resources")]. Minsk, 2009, pp. 438–441 (In Russian).
12. Kozorez A. I. [Comparative characteristics of the winter biotope distribution of reindeer Ruzhansk and Nalibokskaya forests]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 80-letiyu Instituta lesa NAN Belarusi ("Nauka o lese XXI veka")* [Materials of the intern. scientific-practical. conf., dedicated to the 80th Anniversary of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus ("Science of the forest of the XXI century")]. Gomel', 2010, pp. 528–531 (In Russian).
13. Kossak S. Report on the state of animals in the Bialowieska Forest in the first quarter of 1999, 2001. *Bialowieza*, 2001. 26 p.
14. Frackowiak W., Wojciuch-Ploskonka M. [Game management of the wild ungulled populations in northeastern Poland]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu VNIIOZ im. B. M. Zhidkova ("Sovremenyye problemy prirodopol'zovaniya, okhotovedeniya i zverovodstva")* [Materials of the Intern. scientific-practical. conf., dedicated. 90th anniversary of VNIIOZ them. B. M. Zhytkova ("Modern problems of nature management, hunting and fur farming)]. Kirov, 2012, pp. 137–138 (In Russian).
15. Wolfe M. L., Berg. F.-Ch. Deer and forestry in Germany. Half a century after Aldo Leopold. A contemporary look at the correlation between wildlife and forest damage. *Jornal Forest*, 1988, vol. 86, no. 5, pp. 25–31.
16. Kozorez A. I. The structure of non-productive losses of game animals in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2011, issue XI, pp. 97–98 (In Russian).

Информация об авторе

Козорез Александр Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: s_kozorez@mail.ru

Information about the author

Kozorez Aleksandr Ivanovich – PhD (Agriculture), Head of the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: s_kozorez@mail.ru

Поступила 31.03.2018

УДК 338.48-054.6(476)

В. А. Марчук

Белорусский государственный технологический университет

**АСПЕКТЫ РОСТА ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ БЕЛАРУСИ
У ИНОСТРАННЫХ ТУРИСТОВ**

Развитие туризма в Беларуси в последние годы было подвержено влиянию ряда неординарных факторов: прошедший в республике Чемпионат мира по хоккею, экономический кризис в России, воссоединение Крыма Российской Федерацией и ряд других, к которым сфера туризма весьма чувствительна [1].

Беларусь, обладая хорошими ресурсами и возможностями для развития туризма, тем не менее не может выдерживать конкуренцию с зарубежными странами [2], и как результат – с каждым годом все больше населения страны выезжает за территорию республики на время отпусков. Одной из причин выездного туризма является слабая реклама для продвижения национального туристического продукта, объектов экологического, культурно-познавательного туризма Беларуси на национальном и международном туристических рынках.

Въездной туризм Беларуси представлен иностранными туристами из соседних стран, в частности из России. На это влияет ряд факторов: ностальгические мотивы, безвизовый режим, низкие цены и ряд др. Однако для расширения географии стран, из которых туристы будут приезжать на отдых в Беларусь, необходимо уделять значительное внимание менталитету иностранных туристов, делать рынок туристических услуг более эластичным и клиентоориентированным.

Ключевые слова: туризм, туристический бизнес, ресурсные возможности, экологический туризм, ресурсный потенциал, менталитет, клиентоориентированность.

V. A. Marchuk

Belarusian State Technological University

**SOME ASPECTS OF GROWTH OF BELARUSIAN ATTRACTIVENESS
IN FOREIGN TOURISTS**

The development of tourism in Belarus in recent years has been influenced by a number of extraordinary factors, among which are the World Hockey Championship, the economic crisis in Russia, the reunification of Crimea by the Russian Federation and a number of other factors to which the tourism industry sensitive [1].

Belarus, possessing good resources and opportunities for tourism development, can not withstand competition with foreign countries, and as a result, every year more and more people of the country [2] leave for the territory of the republic for the period of holidays. One of the reasons for outbound tourism is weak advertising for the promotion of the national tourist product, objects of ecological, cultural and educational tourism of Belarusia in the national and international tourist markets.

Incoming tourism of Belarus is represented by foreign tourists from neighboring countries, in particular from Russia. This is influenced by a number of factors: nostalgic motives, visa-free regime, low prices and a number of other reasons. However, to expand the geography of countries from which tourists will come to rest in Belarus, it is necessary to pay considerable attention to the mentality of foreign tourists. To make the market of tourist services more elastic, client-oriented.

Key words: tourism, tourist business, resource opportunities, ecological tourism, resource potential, mentality, client orientation.

Введение. Туризм – это отрасль экономики непродуцированной сферы, предприятия и организации которой удовлетворяют потребности туристов в материальных и нематериальных услугах. Основная функция – обеспечить человека полноценным и рациональным отдыхом [2–7].

Множество факторов влияют на выбор туристами и экскурсантами того или иного вида отдыха и самой страны пребывания: наличие ресурсов (природных, культурных), инфра-

структуры, и, что немаловажно, – безопасность данной местности (страны, города) [8].

Ориентация на выездной туризм является негативной тенденцией в республике. Развитие внутреннего и выездного туризма – вот приоритетные направления туристической индустрии Беларуси.

Главным признаком успешной деятельности в туризме являются клиентоориентированность, эластичность рынка оказания туристических услуг, на чем и должен строиться весь со-

временный конкурентноспособный туристический бизнес.

Основная часть. Туризм является фундаментальной основой экономики многих развитых и развивающихся стран мира.

В настоящее время он превратился в индустрию международного масштаба, занимающую по доходам третье место среди крупнейших экспортных отраслей экономики, уступая лишь нефтеперерабатывающей промышленности и автомобилестроению [9]. Туристскую индустрию можно рассматривать как совокупность гостиниц и иных средств размещения, средств транспорта, объектов общественного питания, объектов и средств развлечения, объектов познавательного, делового, оздоровительного, спортивного и иного значения, организаций, осуществляющих туристскую деятельность, организаций, предоставляющих услуги гидов-переводчиков [10].

Беларусь располагает рядом предпосылок для успешного развития как внутреннего, так и въездного туризма. К ним можно отнести: выгодное геополитическое положение, наличие богатого историко-культурного и природного наследия. Более полно ресурсные возможности республики представлены на рис. 1 [9].

Ресурсные возможности республики Беларусь включают 1597 памятников архитектуры, 1131 памятник истории, 122 памятника искусства, 1834 памятника археологии, 138 музеев, 23 парка культуры и отдыха, 4 национальных парка, 2 заповедника, 96 заказников республиканского значения и 446 местного, 910 памятников природы, 927 усадеб, 331 средство размещения и 102 санаторно-курортные организации.

Все вышеперечисленные ресурсные возможности способствуют развитию большого числа разнообразных видов туризма.

Агротуризм – отдых в любой области Беларуси в деревенских домах или коттеджах,

(927 сельских усадеб, 17 туристических комплексов на базе СПК).

Ностальгический туризм может заинтересовать зарубежных туристов, имеющих белорусско-польские, еврейские и даже мусульманские корни.

Иностранному охотничьему туризму сегодня считается наиболее перспективным в Беларуси. Его можно назвать одной из основных статей дохода въездного туризма.

В настоящее время государство и частники активно вкладывают деньги в строительство охотничьих вольеров, которые достигают размера до 2 тыс. га. В них можно проводить охоту на ланей, муфлонов, оленей.

В Республике Беларусь с недавнего времени официально разрешена охота с луком и арбалетом. Сегодня в мире порядка 20 государств, в которых официально разрешена такая ловля зверя, Беларусь в их числе.

Иностранного охотника интересует волк (как охотничий вид), к примеру, в Польше, Германии и ряде других стран этих животных мало, там они считаются охраняемым видом. В Беларуси охота на волков проводится круглогодично, так как волк считается нежелательным видом из-за высокой численности популяции.

Кроме этого, в Беларуси добывается ежегодно 20–25 особей зубра. Полученные от охоты средства идут на развитие популяции.

Экологический туризм: несравненная белорусская природа с ее лесами, озерами и национальными парками.

Водный туризм – Августовский канал (для любителей сплава), Огинский канал привлекает байдарочников, Днепр-Бугский канал, Днепр, Припять и другие реки – для любителей водных путешествий.

Спортивный туризм – суперсовременные горно-лыжные курорты «Логойск», «Силичи», «Мозырь», спортивные походы (водные, лыжные, велосипедные, конные).

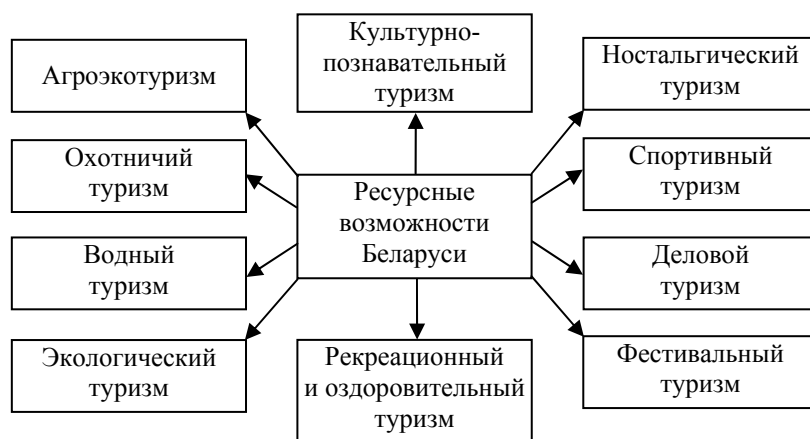


Рис. 1. Ресурсные возможности Беларуси

Культурно-познавательный туризм – дворцы и замки Беларуси XVI–XIX вв., места важных исторических событий.

Деловой туризм – международные выставки, семинары, симпозиумы.

Рекреационный и оздоровительный туризм – 102 санатория, 85 баз отдыха.

Фестивальный туризм – «Славянский базар» в Витебске, фестиваль церковной музыки «Магутны божа», «Золотой шлягер» в Могилеве, «Музы Несвижа», «Белая амфора» в Витебске и т. д.

Многочисленные ресурсы, которыми богата Беларусь, используются в различных видах туризма. Природные ресурсы страны (национальные парки, заказники, памятники природы) активно вовлечены в экологический, водный, рекреационный и охотничий виды туризма. Историко-культурное наследие является главным объектом в культурно-познавательном туризме.

Однако для того чтобы разнообразить организуемые туры, экскурсии, чаще всего используется не один, а все имеющиеся ресурсы территории.

К примеру, при организации экологического туризма нередко в экскурсии включают памятники истории, архитектуры и другие историко-культурные ценности.

Эколого-краеведческая тропа «Поречская» расположена в ГЛХУ «Гелеханский лесхоз», Поречское лесничество. Она дает представление о редких экзотических деревьях, растущих в Пореченском парке, исторических достопримечательностях края, деятельности белорусского и польского государственного политического деятеля Романа Александровича Сकिрумонта.

Такое комплексное и смежное использование всех имеющихся ресурсов наблюдается во всех видах туризма и способствует ознакомлению и популяризации территории страны в целом, а не одном направлении. Вовлечение существующих ресурсов страны нельзя отнести к какому-либо конкретному виду туризма.

Средства размещения также относятся к ресурсам территории, активно вовлеченным в сферу туризма. Они составляют базу туристической индустрии и необходимы для успешного функционирования и развития каждого вида туризма.

Средства размещения – это любой объект, регулярно или периодически предоставляющий места для ночевки [2]. Для Беларуси наиболее популярными средствами размещения являются гостиницы, мотели, кемпинги, дома охотника и рыболова.

Белорусский туристический бизнес развивается преимущественно с ориентацией на выезд, и лишь небольшая часть туристических фирм ориентируется на внутренний туризм, который

развит весьма слабо, и собственно привлечение гостей в Беларусь (въездной туризм).

Ежегодно Беларусь посещают порядка 6 млн человек, более 30% из которых являются организованными туристами [11, 12]. Основные виды туризма, привлекающие иностранцев в Беларусь, представлены на рис. 2 [13–14].

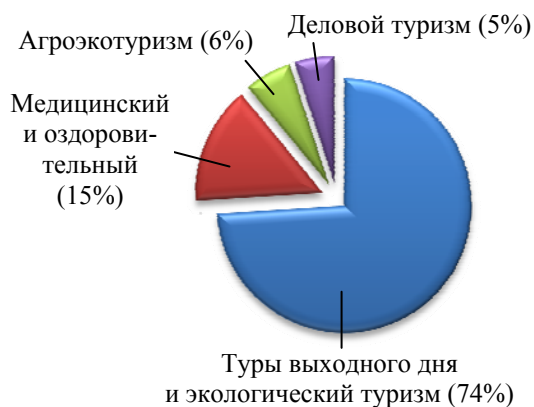


Рис. 2. Популярные у иностранцев виды туризма при посещении Беларуси

Из всех вышеперечисленных видов туризма следует выделить экологический туризм и туры выходного дня как наиболее популярные виды. В соответствии со статистическими данными, средняя продолжительность пребывания иностранных туристов в 2016 г. составила 4 дня (2015 г. – 5 дней) [11, 12], что в большей степени подходит именно для данных видов туризма.

Экологический туризм имеет тесную взаимосвязь с агротуризмом. При заинтересованности и активной деятельности хозяев усадеб в области экотуризма (обустройство экологических троп, проведение экскурсий, обустройство смотровых площадок для наблюдения за животными), агротуризм может стать еще более популярным для иностранных туристов, что, в свою очередь, увеличит доход от туристической деятельности.

Для привлечения иностранных посетителей еще в январе 2017 г. был установлен безвизовый режим для 80 стран мира на 5 дней. Пока данная мера не принесла желаемого результата, возможно, из-за отсутствия на должном уровне рекламной компании, нехватки квалифицированных кадров в туристической сфере и несоответствия цены и качества размещения в гостиницах. Существует острая проблема с придорожным сервисом, особенно на отдаленных автомагистралях.

Въездной туризм формируется за счет граждан Российской Федерации, точное количество которых не поддается подсчетам.

Более полный список стран, граждане которых прибывают в Беларусь с целью туризма, представлен на рис. 3 [11, 12, 15].



Рис. 3. Организованные иностранные туристы, принятые в Республике Беларусь за 2016 – Ирак

Наибольший поток въездного туризма наблюдается из Российской Федерации и других соседних стран, чему способствует ряд весомых причин: безвизовый режим, отсутствие языкового барьера, ностальгические мотивы.

Для расширения географии въездного туризма необходимо уделять больше внимания менталитету именно тех стран, с которыми наиболее интересно туристическое сотрудничество для Беларуси.

Следует выделить страны Западной Европы. Одной из главных целей туристов, прибывающих в Беларусь, является добыча трофейных животных (лось, олень, зубр резервного фонда) и в целом охотничий туризм, так как на территории большинства европейских стран либо вообще запрещен отстрел данных животных, либо введены жесткие ограничения на добычу. Цены за добычу трофейных животных также в разы отличаются в Беларуси от европейских.

Прибывающие из стран Азии более нацелены на развлекательный отдых (посещение ресторанов, баров, казино, ночных клубов и т. д.).

Клиентоориентированность – главный, необходимый критерий успешного развития туризма, в частности въездного.

Вывод. Ресурсный потенциал Беларуси велик. Он и является основной привлекательной силой для успешного развития как внутреннего, так и въездного туризма.

Для иностранных туристов популярным является экологический туризм. Следовательно, существующий природный потенциал территории обеспечивает привлекательность Беларуси для въездного туризма, но недостаточное развитие инфраструктуры снижает эту привлекательность.

Необходимо уделять внимание таким популярным у иностранцев видам туризма, как экологический и агроэкотуризм, находить инвестиции для поддержания привлекательности территории.

Наиболее успешно развивающимся и прибыльным является медицинский туризм. Следует не только сохранять на существующем уровне эти показатели, но и следить за новыми тенденциями развития в сфере медицины.

Немаловажным является расширение возможностей делового туризма (проведение научных конференций, семинаров и т. п.).

Туризм, в частности ориентированный на прием иностранных туристов, должен становиться более эластичным к спросу и требованиям туристов.

Литература

1. Тарасенок А. И. Геоэкономический механизм обеспечения конкуренции туристической дестинации: учеб. -метод. пособие. Минск: РИПО, 2014. 144 с.
2. Тарасенок А. И. Туристический комплекс Республики Беларусь: современные проблемы и новый механизм развития // Белорусский экономический журнал: сб. науч. работ. Вып. 1. 2016. С. 109–127.
3. География туризма: учебник / В. И. Кружалин [и др.]. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 336 с.
4. Информационное обеспечение туризма: учебник / Н. С. Морозова [и др.]. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 288 с.
5. История туризма: учебник / отв. ред. и сост. Ю. С. Путрик. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 256 с.
6. Основы туризма: учебник / под ред. Е. Л. Писаревского. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 384 с.
7. Экономика туризма: учебник / М. А. Морозов [и др.]. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 320 с.
8. Безопасность туризма: учебник / А. Г. Бобкова [и др.]; под общ. ред. Е. Л. Писаревского. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 272 с.
9. Штефан Л. В. Социально-экономические аспекты развития экологического туризма // Белорусский государственный университет физической культуры: сб. науч. тр. Вып. 13. 2010. С. 41–49.
10. Туристический потенциал территории [Электронный ресурс] / Ресурсы и инфраструктура туризма. Режим доступа: http://studopedia.su/4_5706_turistskiy-potentsial-territorii.html. Дата доступа: 15.08.2017.
11. Национальный статистический комитет [Электронный ресурс] / Иностранные туристы и экскурсанты, принятые в Республике Беларусь в 2016 году организациями, осуществляющими туристическую деятельность. Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/turizm/>. Дата доступа: 01.09.2017.
12. Туризм и туристические ресурсы в Республике Беларусь. Статистический сборник Медведева И. В. Минск. 2017.
13. Верниковская О. Белорусский туризм: тенденции и перспективы // Директор. 2009. № 10. С. 10–14.
14. Все о туризме [Электронный ресурс] / Основы гостеприимства и туризма. Основные виды туризма. Режим доступа: http://tourlib.net/books_tourism/artemova7.htm. Дата доступа: 15.08.2017.
15. Тарасенок А. И. Новые подходы к структурированию туристского пространства: от рекреационных районов к геоэкономическим системам // Вестник БГУ. Сер. 2. 2010. № 1. С. 95–99.

References

1. Tarasенок A. I. *Geoekonomicheskij mekhanizm obespecheniya konkurentsii turisticheskoy destinatsii* [Geo-economic mechanism to ensure competition of tourist destination]. Minsk, RIPO Publ., 2014. 144 p.
2. Tarasенок A. I. Tourist complex at the Republic of Belarus: modern problems and new mechanism of development. *Belorusskiy ekonomicheskij zhurnal: sb. nauch. rabot* [Belarusian economic journal: collection of works], 2016, vol. 1, pp. 109–127 (In Russian).
3. Kruzhalin V. I., Mironenko N. S., Zigern-Korn N. V., Shabalina N. V. *Geografiya turizma* [Geography of tourism]. Moscow, Federal'noye agentstvo po turizmu Publ., 2014. 336 p.
4. Morozova N. S., Morozov N. A., Chudnovskiy A. D., Zhukova M. A., Rodigin L. A. *Informatsionnoye obespecheniye turizma* [Information support of tourism]. Moscow, Federal'noye agentstvo po turizmu Publ., 2014. 288 p.
5. Putrik Yu. S. *Istoriya turizma* [History of tourism]. Moscow, Federal'noye agentstvo po turizmu Publ., 2014. 256 p.
6. Pisarevskogo Ye. L. *Osnovy turizma* [Basies of tourism]. Moscow, Fede-ral'noye agentstvo po turizmu Publ., 2014. 384 p.
7. Morozov M. A., Morozova N. S., Karpova G. A., Khoreva L. V. *Ekonomika turizma* [Economies of tourism]. Moscow, Federal'noye agentstvo po turizmu Publ., 2014. 320 p.
8. Bobkova A. G., Kudrevatykh S. A., Pisarevskiy Ye. L. *Bezopasnost' turizma* [Tourism security]. Moscow, Federal'noye agentstvo po turizmu Publ., 2014. 272 p.
9. Shtefan L. V. Socio-economic aspects of ecological tourism development. *Belorusskiy gosudarstvennyy universitet fizicheskoy kul'tury: sb. nauch. tr.* [BTU of Phisical Education], 2010, pp. 41–49 (In Russian).

10. Turisticheskiy potentsial territorii [The tourist potential of the territory]. Available at: http://studopedia.su/4_5706_turistskiy-potentsial-territorii.html (accessed 15.08.2017).

11. *Natsional'nyy statisticheskiy komitet* [National Statistical Committee]. Available at: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/turizm/> (accessed 01.09.2017).

12. Medvedeva I. V. *Turizm i turisticheskiye resursy v Respublike Belarus'* [Tourism and tourism resources in the Republic of Belarus]. Minsk, 2017.

13. Vernikovskaya O. Belarusian tourism trends and prospects. *Direktor* [Direktor], 2009, no. 10, pp. 10–14 (In Russian).

14. *Vse o turizme* [All about tourism]. Available at: http://tourlib.net/books_tourism/artemova7.htm (accessed 15.08.2017).

15. Tarasenok A. I. New approaches to the structuring of tourist: space from recreational areas to geoeconomic systems. *Vestnik BGU* [Bulletin of BSTU], series 2, 2010, no. 1, pp. 95–99 (In Russian).

Информация об авторе

Марчук Виктория Андреевна – магистрант кафедры экономики и управления на предприятии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: marchuk@belstu.by

Information about the author

Marchuk Victoriya Andreevna – Master's degree student, the Department of Economics and Management at the Enterprise. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: marchuk@belstu.by

Поступила 05.03.2018

УДК 639.1.052(476.1)

Н. Т. Юшкевич, В. В. Моцный

Белорусский государственный технологический университет

**ЛЕСООХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО НЕГОРЕЛЬСКОГО
УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

Эффективное ведение охотничьего хозяйства – одна из важнейших составляющих устойчивого развития лесного хозяйства, а также основа для организации экологического и охотничьего туризма в Беларуси. Устойчивое развитие в сфере охотничьего хозяйства следует понимать как взаимодействие экологической и экономической составляющих, находящихся под определенным влиянием социального и культурологического фактора.

Для дальнейшего повышения эффективности ведения лесохозяйственного учебно-опытного лесхоза в перспективе необходимо решать стратегические цели и задачи, которые достигаются путем рационального использования лесосырьевых ресурсов, охраной животного и средообразующего потенциала (хабитатов) и внедрением нового организационно-экономического инструментария.

Вместе с тем учебно-опытному лесхозу необходимо разработать более современную систему организации охот с учетом опыта охотничьих хозяйств Польши, Прибалтики, Скандинавских стран; приобрести нужное оснащение и привлечь специалистов для улучшения охраны охотничьих угодий, повышения образовательного уровня, эффективности от организации иностранных охотничьих туров.

Ключевые слова: охотничье хозяйство, экологический туризм, рациональное использование, устойчивое развитие.

N. T. Yushkevich, V. V. Motsnyy

Belarusian State Technological University

**FOREST-HUNTING OF NEGORELOE FORESTRY EXPERIMENTAL STATION:
CONDITIONS, PROBLEMS, PERSPECTIVES**

Proper management of hunting facilities is one of the most important components of sustainable forestry development, as well as the basis for organizing ecological and hunting tourism in Belarus. Sustainable development in the sphere of hunting should be understood as the cooperation of ecological and economic components which are influenced by social and cultural factors.

It is necessary to address the strategic goals and objectives that are achieved through the rational use of forest resources, the protection of animal and environmental potential (the habitats), and the introduction of new organizational and economic tools for further enhance efficiency of the forest-hunting management of Negoreloe Forestry Experimental Station.

At the same time, Negoreloe Forestry Experimental Station needs to develop a more modern hunting organization which will use experience of hunting in Poland, the Baltic states, the Scandinavian countries; to acquire the necessary equipment and attract specialists to improve the protection of hunting grounds, improve the educational level, and the efficiency of organizing foreign hunting tours.

Key words: hunting, ecological tourism, rational use, sustainable development.

Введение. Основные задачи охотничьего хозяйства – сохранение биоразнообразия дикой природы как элемента национального богатства, повышение культуры охоты, утверждение высокой этики охотника, формирование эколого-организованного общественного сознания и правильных отношений в охотничьем пользовании с одновременным укреплением имиджа страны [1].

В настоящее время, как в Беларуси, так и в ряде других европейских стран, организации рационального использования лесосырьевых ресурсов, охране и рациональному использованию охотничьих ресурсов, а также развитию экологического и охотничьего туризма уделяется особое внимание. Эффективное ведение охотни-

чьего хозяйства – одна из важнейших составляющих устойчивого развития лесного хозяйства в Беларуси [2].

Основная часть. На базе Негорельского учебно-опытного лесхоза функционирует лесохозяйственное хозяйство. Охотничье хозяйство учреждения образования Белорусский государственный технологический университет (далее УО БГТУ) осуществляет свою деятельность в пределах Дзержинского района на основании договора аренды охотничьих угодий между УО «Белорусский государственный технологический университет» и Дзержинским РИК от 22 марта 2014 г. и дополнительным соглашением № 1–6 к данному договору, а

также в пределах Узденского района на основании договора аренды охотничьих угодий между Узденским районным исполнительным комитетом и УО БГТУ № 6 от 21 марта 2014 г. и дополнительным соглашением № 1–6 к данному договору.

Общая площадь переданных в аренду охотничьих угодий составляет 21,7 тыс. га. Охотничьим устройством на территории охотничьего хозяйства выделены 4 охотничьи хозяйственные зоны:

- зона (А) преимущественного ведения хозяйства на копытных – 12,22 тыс. га, или 55,8%;
- зона (Б) охоты на мелкую дичь; составляет 4,8 тыс. га, или 22,1% территории, здесь же может проводиться и охота на копытных;
- зона покоя (В), составляет 2,03 тыс. га, или 9,2% от площади хозяйства. В нее входит биологический заказник местного значения «Ленчино» площадью 245 га (1,1%);

– зона (Г) нагонки и натаски охотничьих собак (3 участка) общей площадью 2,81 тыс. га.

На сегодняшний день на территории хозяйства динамика численности диких охотничьих животных за последние три года представлена в табл. 1 [3].

Охрана охотничьих угодий осуществляется егерской службой. Согласно путевкам на территории охотхозяйства УО БГТУ за последние 6 мес. проведено 46 рейдов, заведено 2 уголовных дела за незаконную охоту.

Высокая численность охотничьих животных на территории охотхозяйства свидетельствует о их удовлетворительной охране, проводимой егерской службой и Столбцовской межрайонной инспекцией.

Проектом охотничьего устройства предусмотрено осуществление необходимого комплекса различных биотехнических и охотничьих хозяйственных мероприятий (табл. 2) [3].

Таблица 1

Использование ресурсов охотничьих копытных животных

Вид животного	Оптимальная численность	Годы	Фактическая численность	Добыча	Нерациональные потери
Лось	49	2015	52	3	1
		2016	55	5	2
		2017	55	5	4
Олень	159	2015	150	14	–
		2016	155	14	–
		2017	190	20	–
Косуля	355	2015	370	34	3
		2016	370	52	11
		2017	390	62	5
Кабан	–	2015	6	15	1
		2016	3	27	3
		2017	5	21	11

Таблица 2

Комплекс биотехнических и охотничьих хозяйственных мероприятий

Виды биотехнических мероприятий	Ед. измерений	Объемы ежегодных мероприятий	Фактически выполнено
Солонец для лося и оленя	Шт.	25	65
Кормушка-солонец для косули и оленя	То же	27	37
Подкормочная площадка для кабана	–/–	25	–
Солонцы для зайца беляка	–/–	85	65
Подкормочные площадки для зайца русака	–/–	52	Выкладывается сено и зерно в зимнее время
Кормовые поля	га	13,7	6,0
Корма, из них:			
соль лизунец	т	0,3	2,0
сочные	т	6,0–7,4	3,5
концентрированные	т	14,2–15,8	9,15
грубые	т	3,8–4,8	8,0

Экономическая эффективность ведения охотничьего хозяйства

Показатель	2015 г.	2016 г.
Затраты на ведение охотничьего хозяйства, тыс. руб.	29,28	47,7
Доходы от ведения охотничьего хозяйства, тыс. руб.	51,92	56,6
В том числе от иностранного туризма, тыс. руб.	39,48	34,9
Рентабельность, %	177	118

Большая часть изъятия приходится на иностранных охотников, что позволяет окупать охотничью хозяйственную деятельность в лесхозе. На данном этапе ведение лесоохотничьего хозяйства характеризуется как достаточно эффективное (табл. 3).

Вместе с тем следует понимать, что при текущем уровне развития маркетингового позиционирования и рекламного продвижения дальнейший рост прибыли охотничьего хозяйства будет затруднительным [3]. Общее состояние ведения лесоохотничьего хозяйства Негорельского учебно-опытного лесхоза находится на достаточно высоком уровне в плане охраны и поддержания оптимальной численности охотничьих животных, проведения биотехнических мероприятий, а что касается технического оснащения, организации проведения охот – есть вопросы, которые необходимо оперативно решать.

Следует постоянно внедрять более современные и эффективные методы проведения охот, требует дальнейшего развития экологический туризм [4]. Необходимо создание интерактивного интернет-сайта охотхозяйства со ссылками на сайты туроператоров, организующих охотничьи и экологические туры, особое внимания требует рекламная компания, которая, к сожалению, не

соответствует запросам сегодняшнего дня, вследствие чего охотхозяйство не заслужено пользуется малой популярностью у охотников из других стран и регионов Беларуси [5–9].

Заключение. Для повышения эффективности ведения охотничьего хозяйства Негорельского учебно-опытного лесхоза следует разработать перспективную программу развития охотничьего хозяйства, в которой надо предусмотреть мероприятия по дальнейшему проведению комплекса биотехнических и охотничьих хозяйственных мероприятий, создание вольерного хозяйства, строительство охотничьей базы. В программе необходимо предусмотреть направления развития, которые позволят хозяйству не только повысить количество диких охотничьих животных, но и их качество: улучшение половозрастной структуры, ориентация на мясной или же трофейный характер ведения хозяйства. Разработать более современную систему организации охот с учетом опыта охотничьих хозяйств Польши, Прибалтики, Скандинавских стран; приобрести необходимое оснащение и привлечь специалистов для улучшения охраны охотничьих угодий, повышения образовательного уровня, эффективности от организации иностранных охотничьих туров [10–15].

Литература

1. Янушко А. Д., Дунин В. Ф., Захаренко А. П. Эколого-экономические основы лесоохотничьего хозяйства Беларуси. Минск: Четыре четверти, 2006. 232 с.
2. Неверов А. В. Лесное управление. Минск: Пачатковая шк., 2014. 400 с.
3. Справка проведения мониторинга производственной деятельности «Негорельского учебно-опытного лесхоза УО БГТУ. Минск: БГТУ, 2018. 7 с.
4. Багинский В. Ф. Современные проблемы лесного хозяйства: практическое руководство. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. 45 с.
5. Бахур О В. Анализ развития охотничьего туризма в хозяйствах региона Балтийского ландшафта «Неман». Минск: БГТУ, 2014. С. 52–55.
6. Бобылев С. Н. Экономика природопользования. М.: Изд-во МГУ, 2003. 567 с.
7. Бобылев С. Н. Экономика сохранения биоразнообразия. М.: Наука, 1999. 88 с.
8. Вернадский В. И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. 283 с.
9. Водопьянов П. А. Устойчивость и динамика биосферы. Минск: Наука и техника, 1981. 239 с.
10. Воробьев И. П. Экономическое обоснование путей перехода лесного хозяйства Беларуси на самофинансирование. Минск: БГТУ, 2006. С. 189–193.
11. Гештовт П. А. Опыт ведения охотничьего хозяйства на территории лесоохотничьего хозяйства «Выгоновское». Минск: БГТУ, 2006. С. 89–90.

12. Новиков Р. А. Глобальная экологическая проблема. М.: Мысль, 1988. 205 с.
13. Голуб А. А. Экономика природопользования. М.: Аспект-пресс, 1995. 188 с.
14. Данилов Д. Н. Основы охотоустройства. М.: Лесная промышленность, 1966. 332 с.
15. Доклад о развитии человека за 1996 г. Нью-Йорк. Великобритания: Оксфорд Университи Пресс, 1996. 72 с.

References

1. Yanushko A. D., Dunin V. F., Zakharenko A. P. *Ecologo-ekonomicheskije osnovy lesookhotnich'ye-go khozyaystva* [Ecological and economic foundations of Forestry of Belarus]. Minsk, Chetyre chetverti Publ., 2006. 232 p.
2. Neverov A. V. *Lesnoye upravleniye* [Forest governance]. Minsk, Pachatkovaya shk. Publ., 2014. 400 p.
3. *Spravka provedeniya monitoring proizvodstvennoy deyatel'nosti "Negorel'skogo uchebno-opytного leskhoza UO "BGTU"* [The monitoring certificate of the production activity of Negoreloe Forestry Experimental Station of the Belarusian State Technological University]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 7 p.
4. Baginskiy V. F. *Sovremennyye problemy lesnogo khozyaystva* [Modern problems of forestry]. Gomel', GGU im. F. Skoriny Publ., 2016. 45 p.
5. Bakhur O. V. *Analiz razvitiya okhotnich'ego turizma v khozyaystvakh regiona Baltiyskogo landshaf-ta "Neman"* [Analysis of the development of hunting tourism in the farms of the Baltic Landscape Region "Neman"]. Minsk, BGTU Publ., 2014. pp. 52–55.
6. Bobylev S. N. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [The economics of nature management]. Moscow, Izd-vo MGU Publ., 2003. 567 p.
7. Bobylev S. N. *Ekonomika sokhraneniya bioraznoobraziya* [The economics of biodiversity conserva-tion]. Moscow, Nauka Publ., 1999. 88 p.
8. Vernadskiy V. I. *Biosfera* [Biosphere]. Moscow, Mysl' Publ., 1967. 283 p.
9. Vodop'yanov P. A. *Ustoychivost' i dinamika biosfery* [Stability and dynamics of the biosphere]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1981. 239 p.
10. Vorob'yev I. P. *Ekonomicheskoye obosnovaniye putey perekhoda lesnogo khozyaystva Belarusi na samofinansirovaniye* [Economic justification of the ways of transition of forestry in Belarussia to self-financing]. Minsk, BGTU Publ., 2006. pp. 189–193.
11. Geshtovt P. A. *Opyt vedeniya okhotnich'ego khozyaystva na territorii lesookhotnich'ego khozyay-stva "Vygonovskoye"* [Experience of hunting management in the territory of the forestry hunting farm "Vygonovskoe"]. Minsk, BGTU Publ., 2006. pp. 89–90.
12. Novikov R. A. *Global'naya ekologicheskaya problema* [Global environmental problem]. Moscow, Mysl' Publ., 1988. 205 p.
13. Golub A. A. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [The Economics of Nature Management]. Moscow, Aspect-press Publ., 1995. 188 p.
14. Danilov D. N. *Osnovy okhotoustroystva* [Fundamentals of hunting]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1966. 332 p.
15. *Doklad o razvitiy cheloveka za 1996 god* [Human Development Report 1996]. New York. United Kingdom: Oxford University Press Publ., 1996. 72 p.

Информация об авторах

Юшкевич Николай Тарасович – кандидат экономических наук, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ushkevichn@tut.by

Мощный Виталий Викторович – магистрант кафедры. Белорусский государственный техноло-гический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: motsny@yandex.ru

Information about the authors

Yushkevich Nikolay Tarasovich – PhD (Economics), Assistant Professor, the Department of Tour-ism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverd-lova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ushkevichn@tut.by

Motsny Vitaliy Victorovich – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: motsny@yandex.ru

Поступила 31.03.2018

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 339.9:658:630

С. А. Голякевич

Белорусский государственный технологический университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛУРАМЫ ФОРВАРДЕРА «АМКОДОР»

В статье приводятся результаты анализа прочности и усталостной долговечности металлоконструкции технологической полурамы форвардера «Амкодор». Для определения текущих недостатков полурамы выполнен анализ ее базовой конструкции. Детально проанализированы конструктивные особенности и дано сравнение исследуемой полурамы с конструкциями зарубежных аналогов. Отмечаемые в статье особенности и недостатки базовой конструкции иллюстрируются требуемыми сечениями трехмерной модели полурамы, выполненной в программном пакете Siemens NX. Определение характерных режимов нагружения конструкции полурамы проведено для операций погрузки и разгрузки сортиментов. Данные о возникающих в полураме внутренних силовых факторах получены с использованием математической модели, которая предварительно реализована в программном пакете MathCAD. Оценка адекватности модели выполнена на основании данных ряда предварительных экспериментальных исследований. Подробно излагаются особенности задания граничных условий, синтеза конечно-элементной сетки полурамы в САЕ Ansys и также расчета усталостной долговечности элементов полурамы при ее циклическом нагружении. В заключении статьи приводятся конкретные рекомендации по корректировке конструкторской документации на технологическую полураму форвардера и трехмерная модель ее общего вида, имеющие научную новизну и практическую значимость. Также излагаются данные расчетов усталостной долговечности полурамы новой конструкции.

Ключевые слова: форвардер, нагрузка, режим, операция, рама, динамика, прочность.

S. A. Golyakevich

Belarusian State Technological University

RESULTS OF STRENGTH STUDY AND IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION TECHNOLOGICAL SEMI-FRAME OF FORWARDER AMKODOR

The article presents the results of the analysis of the strength and fatigue life of the steel structure of the technological semi-frame of the Amkodor forwarder. To determine the current shortcomings of the semi-frame, an analysis of its basic design is performed. The design features are analyzed in detail and the comparison of the investigated semi-frame with the designs of foreign analogs is given. The features and drawbacks of the basic design noted in the article are illustrated by the required cross-sections of the three-dimensional model of the semi-frame executed in the software package Siemens NX. Determination of the characteristic loading regimes of the structure of the semi-frame is carried out for operations of loading and unloading the assortments. Data on the internal force factors arising in the semaphore are obtained using a mathematical model, which was previously implemented in the software package MathCAD. The adequacy of the model is assessed on the basis of a number of preliminary experimental studies. Details are given of the specification of boundary conditions, the synthesis of the finite element mesh of the semi-frame in CAE Ansys, and also the calculation of the fatigue life of the semi-frame elements under cyclic loading. The conclusion of the article contains specific recommendations on the correction of design documentation for the technological semi-frame of the forwarder and a three-dimensional model of its general form that have scientific novelty and practical significance. Data on the calculation of the fatigue life of a new half-frame design.

Key words: forwarder, load, mode, operation, frame, dynamics, strength.

Введение. Создание современных отечественных многооперационных лесозаготовительных машин, способных конкурировать на мировом рынке с лучшими зарубежными аналогами, невозможно без проведения широкого спектра научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Важным этапом таких работ является анализ прочности несущих конструкций и разработка рекомендаций по их совершенствованию [1]. Научный интерес вызывает определение технологически обоснованных расчетных режимов нагружения несущих конструкций и интерпретация полученных результатов для последующего использования.

Основная часть. Анализ режимов нагружения технологической полурамы форвардера «Амкодор» проведен с использованием предварительно разработанной пространственной математической модели [2–4]. Характеристики внутренних силовых факторов, действующих на полураму форвардера, приведены в табл. 1 и 2. Исходные характеристики статических режимов нагружения следующие:

1. Статическое удержание сортимента массой 500 кг при вылете манипулятора 6,9 м. Грузовая платформа форвардера порожняя.

2. Статическое удержание сортимента массой 500 кг при вылете манипулятора 6,9 м. Грузовая платформа форвардера загружена сортиментами длиной 2 м. Максимальный расчетный объем загруженной пачки сортиментов с учетом коэффициента ее полндревесности 0,8 составляет $5,8 \text{ м}^3$, что эквивалентно массе сортиментов – 5336 кг при плотности ствольной древесины 920 кг/м^3 .

3. Статическое удержание сортимента массой 500 кг при вылете манипулятора 6,9 м. Грузовая платформа форвардера загружена сор-

тиментами длиной 4 м, массой – 9000 кг.

4. Статическое удержание сортимента массой 500 кг при вылете манипулятора 6,9 м. Грузовая платформа форвардера загружена сортиментами длиной 6 м, массой – 9000 кг.

5. Статическое удержание пачки сортиментов массой 980 кг при вылете манипулятора 4,19 м. Грузовая платформа форвардера порожняя.

6. Статическое удержание сортимента массой 980 кг при вылете манипулятора 4,19 м. Грузовая платформа форвардера загружена сортиментами длиной 2 м, массой – 5336 кг.

7. Статическое удержание сортимента массой 980 кг при вылете манипулятора 4,19 м. Грузовая платформа форвардера загружена сортиментами длиной 4 м, массой – 9000 кг.

8. Статическое удержание сортимента массой 980 кг при вылете манипулятора 4,19 м. Грузовая платформа форвардера загружена сортиментами длиной 6 м, массой – 9000 кг.

Исходные кинематические и массовые характеристики форвардера для динамических режимов нагружения (табл. 2) соответствуют характеристикам статических режимов. В качестве динамического нагружающего параметра рассматривалось торможение гидроцилиндра стрелы манипулятора в процессе опускания пачки сортиментов. Начальная скорость опускания $0,6 \text{ рад/с}$. Расчетная величина замедления, вызванная запирианием гидравлической аппаратуры, $2,5 \text{ рад/с}^2$. Следует учитывать, что рассматриваемый динамический режим нагружения является предельным для конструкций форвардера и на практике может быть вызван исключительно неквалифицированными действиями оператора [5–9].

Таблица 1

Характеристика статических режимов нагружения технологической полурамы

Наименование нагрузки	Расчетный вариант нагружения							
	1С	2С	3С	4С	5С	6С	7С	8С
Крутящий момент на опорной платформе манипулятора $M_{\text{ман}}$, кН·м	58,037	58,309	58,313	58,310	56,459	56,472	56,494	56,505
Опорная реакция на платформе манипулятора $R_{\text{ман}}$, кН	15,646	15,646	15,646	15,646	20,350	20,350	20,350	20,350
Крутящий момент в шарнире сочленения полурам $M_{\text{кд}}$, кН·м	13,689	11,907	10,267	9,415	13,267	11,582	9,993	9,159
Изгибающий момент в шарнире сочленения полурам $M_{\text{изг}}$, кН·м	23,330	47,447	40,347	16,740	27,252	51,266	44,178	20,502
Вертикальная реакция в шарнире сочленения полурам $R_{\text{вш}}$, кН	21,990	38,069	33,335	17,600	24,613	40,680	35,862	20,106
Опорная реакция под задним колесом левого балансира R_2 , кН	4,910	13,666	23,839	27,920	5,602	14,389	24,600	28,710
Опорная реакция под передним колесом левого балансира R_4 , кН	6,420	15,149	24,720	28,190	7,214	15,964	25,557	29,052
Опорная реакция под задним колесом правого балансира R_1 , кН	20,190	29,723	40,589	45,030	20,428	29,941	40,821	45,276
Опорная реакция под передним колесом правого балансира R_3 , кН	22,850	32,111	42,178	45,910	23,211	32,457	42,505	46,226

Характеристика динамических режимов нагружения технологической полурамы

Наименование нагрузки	Расчетный вариант нагружения							
	1Д	2Д	3Д	4Д	5Д	6Д	7Д	8Д
Крутящий момент на опорной платформе манипулятора $M_{ман}$, кН·м	122,500	125,300	125,200	125,600	86,908	86,316	86,316	86,316
Опорная реакция на платформе манипулятора $R_{ман}$, кН	21,092	21,414	21,420	21,511	21,206	21,061	21,141	21,274
Крутящий момент в шарнире сочленения полурам $M_{кр}$, кН·м	36,373	26,379	22,375	20,366	20,143	17,551	15,273	14,139
Изгибающий момент в шарнире сочленения полурам $M_{изг}$, кН·м	27,959	52,028	44,770	21,237	28,000	51,875	44,562	21,133
Вертикальная реакция в шарнире сочленения полурам $R_{вш}$, кН	25,000	40,626	36,235	20,557	24,968	40,797	36,052	20,367
Опорная реакция под задним колесом левого балансира R_2 , кН	0	4,797	14,246	18,151	1,702	9,754	19,590	23,699
Опорная реакция под передним колесом левого балансира R_4 , кН	0	5,835	14,829	18,215	2,956	11,068	20,366	23,904
Опорная реакция под задним колесом правого балансира R_1 , кН	28,432	39,833	51,138	56,046	24,724	34,788	46,013	50,507
Опорная реакция под передним колесом правого балансира R_3 , кН	32,919	43,434	53,917	57,764	28,244	37,897	48,163	51,847

Отдельным рассмотренным расчетным случаем является работа гидроцилиндров складывания полурам в режиме статичного изменения угла складывания полурам при максимальной загрузке грузовой платформы. Исходные данные динамического нагружения для моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции приведены на рис. 1.

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции полурамы показал, что динамические режимы нагружения отличаются от статических лишь количественными показателями распределения напряжений. В этой связи дальнейшее рассмотрение конструкции осуществлялось для динамических режимов нагружения.

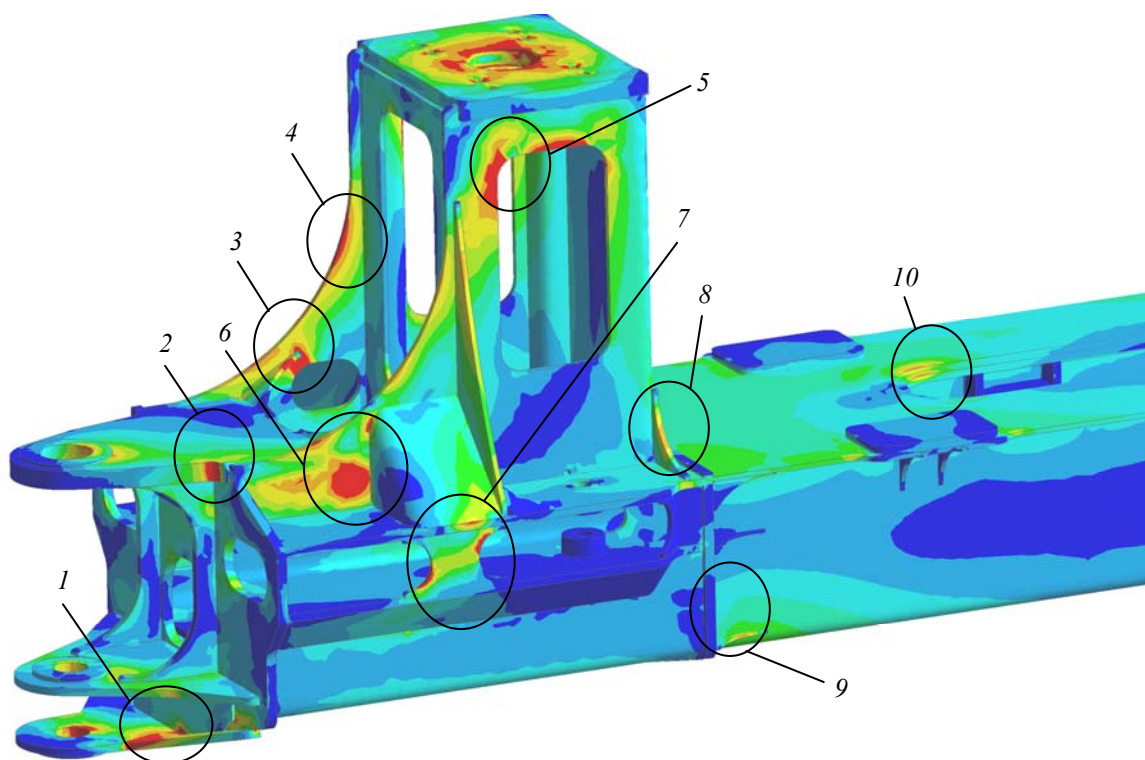


Рис. 1. Распределение участков с наибольшими эквивалентными напряжениями

Величины предельных эквивалентных напряжений в наиболее нагруженных участках конструкции приведены в табл. 3. Ввиду близости расположения участка (рис. 1, поз. 1) к месту приложения граничных условий, величины эквивалентных напряжений не являются характерными и не могут рассматриваться в качестве достоверных.

Таблица 3
Эквивалентные напряжения в конструкции

Режим нагружения	Порядковый номер участка	Величина эквивалентных напряжений, МПа	
		до изменения конструкции	после изменения конструкции
4Д	1	243	186
	2	170	170
	3	156	44 (аналог)
	4	159	51
	5	194	57 (аналог)
	6	164/156	95 (аналог)
	7	138	127 (аналог)
	8	103	98 (аналог)
	9	121	54 (аналог)
	10	134	118

Несмотря на высокую начальную массу базовой технологической полурамы, ее конструкция обладает недостаточной усталостной долговечностью. Так, высокие локальные эквивалентные и первые главные напряжения были установлены на участке между конструкцией шарнирного сочленения полурамы и опорной

площадкой манипулятора. На данном участке следует выделить две характерные области. Первая – на радиусном изгибе продольного листа, соединяющего опорную площадку манипулятора и полушарнир, вторая – в зоне примыкания поперечного усилителя к опоре манипулятора. Напряжения в данных областях могут достигать 159 МПа и 164 МПа соответственно. При этом, допускаемыми эквивалентными напряжениями для рассмотренных деталей является величина 120 МПа, с учетом температурного изменения свойств стали 09Г2С в местах сварных соединений. Для сварных участков соединений допускаемыми напряжениями при полном проваривании по толщине следует считать 100–105 МПа. При неполном проваривании – не более 75–80 МПа.

Высокие напряжения в данных областях вызваны в большей степени действием изгибающего момента от собственных масс полурамы, манипулятора и пачки погруженных сортиментов. На рассматриваемом участке в нижней части полурамы (рис. 2) находится смотровое окно, обеспечивающее доступ для обслуживания промежуточной опоры карданного вала. Данное окно расположено на наиболее нагруженном участке полурамы, на краю сечения, работающего одновременно на изгиб и кручение, и несмотря на значительное (по массе) усиление пластиной, толщиной 16 мм и двумя продольными лонжеронами – не может обеспечить требуемой долговечности конструкции.

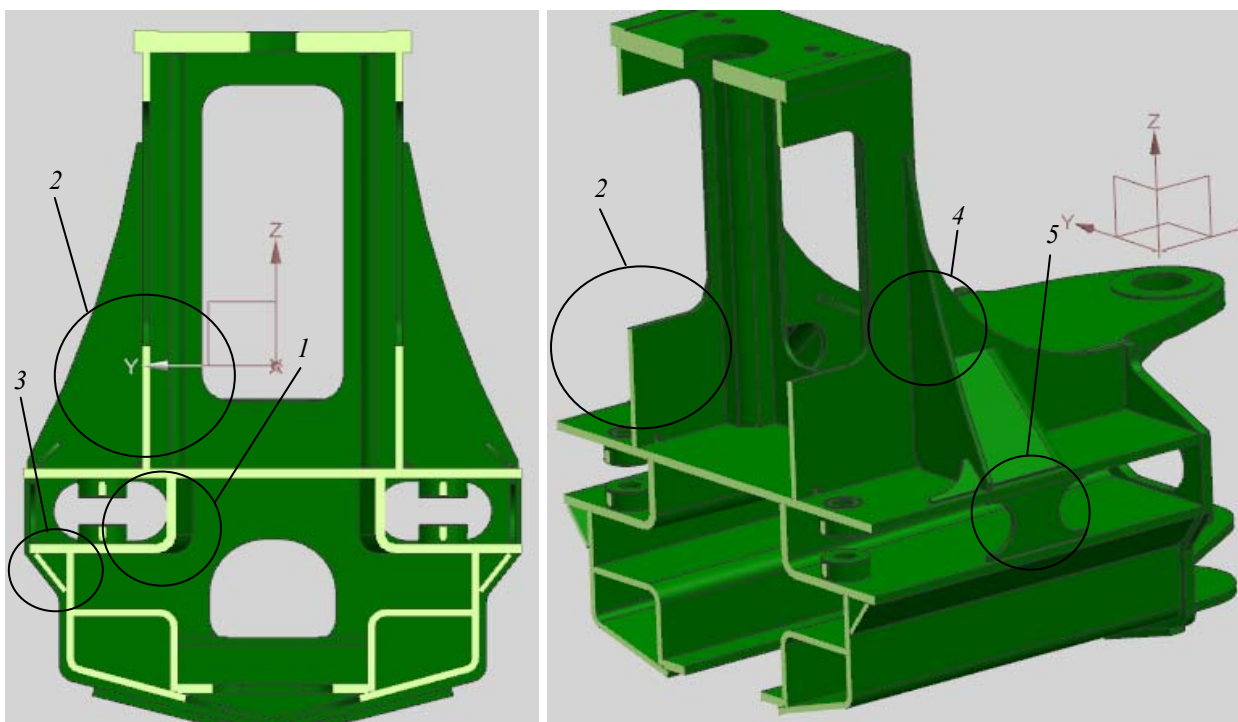


Рис. 2. Поперечное сечение базовой технологической полурамы

Опорная платформа манипулятора надстроена над основной частью полурамы и представляет собой плиту размером 37–40 мм, опирающуюся на стойки, каждая из которых выполнена из 1/4 трубы прямоугольного сечения. Стойки защиты с трех сторон перфорированным листом толщиной 12 мм и одним глухим листом той же толщины в задней части площадки. Следует отметить, что конструкции рамы и опорной площадки манипулятора при компенсации нагружения изгиба в продольной плоскости работают обособленно. То есть элементы являются дублирующими по своей несущей функции, поэтому их масса также избыточна.

Рассматривая поперечное сечение рамы в зоне вертикальной оси установки колонны манипулятора, следует отметить, что усилие от его опорной платформы распределяется на верхние продольные лонжероны, внутренние части которых одновременно являются местами установки гидроцилиндров поворота форвардера (рис. 2, поз. 1).

Расположение вертикальных опор платформы манипулятора (рис. 2, поз. 2) в продольной плоскости не соответствует положению внутренних стенок верхних лонжеронов (рис. 2, поз. 1), поэтому передача вертикального усилия от манипулятора происходит не центрально. Для компенсации возникающих при этом изгибающих моментов нижние полки продольного лонжерона выведены наружу относительно стенок самой рамы и усилены продольными косынками в нижней части (рис. 2, поз. 3). Опорная платформа манипулятора также усилена поперечными косынками (рис. 2, поз. 4), предотвращающими появление существенных напряжений вдоль боковых сварных швов в зоне контакта платформы манипулятора и верхнего листа полурамы. Однако зона контакта является консольной относительно боковой стенки верхнего лонжерона. Поэтому сам лон-

жерон в этой области усилен пластиной (рис. 2, поз. 5), перераспределяющей напряжения с верхней полки лонжерона на нижнюю. Внизу, поперек рамы, позади задней части опорной платформы манипулятора установлен промежуточный лист толщиной 20 мм (рис. 3), перфорированный в центральной части и служащий для соединения переднего коробчатого сечения рамы с толщиной стенки 12 мм и заднего – толщиной 8 мм. Само соединение представляет собой два замкнутых сварных шва по контуру перфорированного листа. Такое сварное соединение без продольного разнесения положений швов (как в аналогичных конструкциях форвардеров *Komatsu* и *Rottne*) также следует считать малонадежным при достижении критических величин напряжений.

За отмеченным перфорированным листом, в нижней части полурамы по всей ее длине (до участка крепления балансирного моста) расположен продольный лист толщиной 10 мм. Его использование призвано компенсировать продольный изгиб.

Вдоль верхнего продольного листа полурамы в областях примыкания опор коников установлено по две косынки с каждой из сторон и выполнено локальное уширение листа. Отмеченные конструктивные особенности полурамы являются нетехнологичными в производстве.

Существенным ограничением в изменении поперечных размеров полурамы являются габариты конструкции крепления балансирного моста и шарнирного сочленения, которые технологически не могут быть уменьшены. В этой связи рациональной габаритной шириной полурамы следует считать 600 мм. В случае изменения конструкции крепления моста и полушарнира на полураме энергетического модуля, ширина полурамы может быть уменьшена до 500 мм без существенного снижения усталостной долговечности.

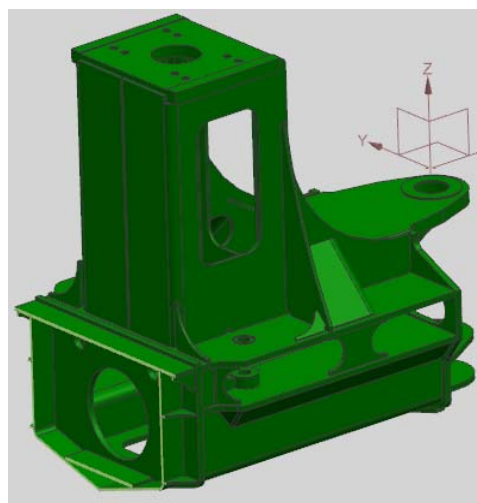
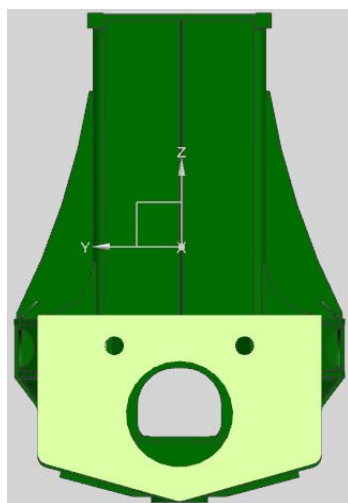


Рис. 3. Сечение базовой технологической полурамы, выполненное позади опорной платформы манипулятора

При этом масса полурамы может быть дополнительно снижена на величину до 170 кг. В связи с установкой манипулятора новой конструкции (Kesla 304) и разности в высоте его колонны относительно базового варианта (Kesla 303) положение опорной площадки манипулятора может быть снижено до 100 мм (разность между высотами колонн составляет 75 мм).

Для повышения усталостной долговечности полурамы и снижения ее массы следует значительно изменить ее общую конструкцию. Так, следует исключить из конструкции нижнее смотровое окно, а для обеспечения доступа к промежуточной опоре карданного вала следует предусмотреть два отдельных, более широких окна (130 мм) в боковой части полурамы (начальная ширина 120 мм). Окна находятся в области средней линии полурамы и не испытывают значительных напряжений (рис. 4).

При большинстве режимов нагружения они не превышают 40 МПа. Указанное позволяет полностью отказаться от нижних лонжеронов, а нижний перфорированный лист усиления заменить на более тонкий (толщиной 8 мм), который будет являться цельным на всем протяжении от

шарнирного сочленения до центрального шпангоута. За шпангоутом данный лист следует исключить из конструкции ввиду его избыточности. Ширину полурамы и опорной платформы манипулятора на данном участке следует привести в соответствие с шириной полурамы под погрузочной площадкой (600 мм), а толщину листа уменьшить с 12 мм до 8 мм. Масса листа снизится до 33%. Такое конструктивное изменение позволит технологично изготавливать цельногнутые боковые листы полурамы и опорной платформы манипулятора на всей их протяженности.

Верхние лонжероны также следует исключить из конструкции. Их несущая функция может быть выполнена передними стойками опорной платформы манипулятора (рис. 5, поз. 1).

Их исполнение следует произвести следующим образом. Передние опоры выполняются косыми под углом около 60° (рис. 5, поз. 1) и опираются на верхнюю плиту шарнирного сочленения полурам (рис. 5, поз. 2). Такое конструктивное решение позволит компенсировать действие разнонаправленных изгибающих моментов от рамы и манипулятора в месте соединения косой передней стойки с шарниром сочленения.

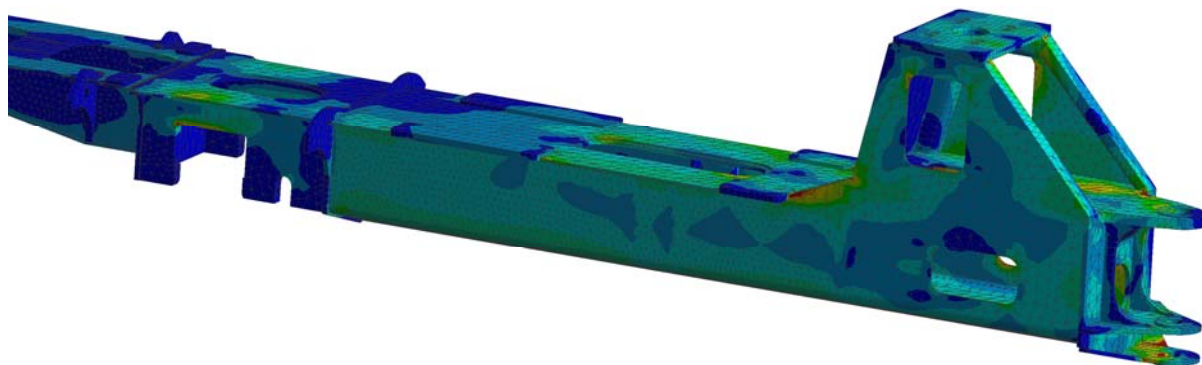


Рис. 4. Общий вид напряженно-деформированного состояния конструкции технологической полурамы

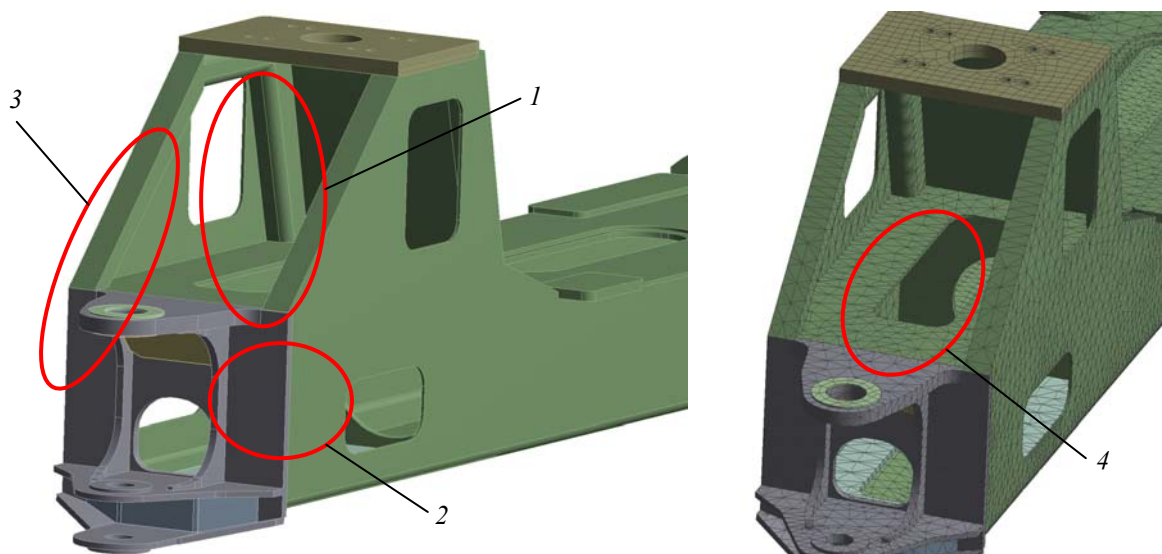


Рис. 5. Предложения по изменению конструкторской документации

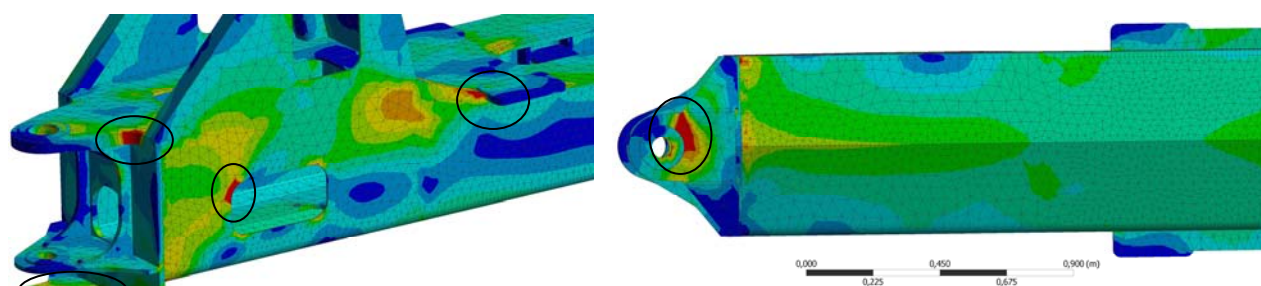


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние полурамы предлагаемой конструкции (выделены зоны с эквивалентными напряжениями свыше 100 МПа)

В зоне данного контакта стоит предусмотреть связь верхней плиты шарнира с верхним продольным листом коробчатого сечения полурамы. Реализовать ее следует по углам верхней плиты в области примыкания передних стоек платформы манипулятора. Сам верхний лист возможно облегчить, выполнив в нем перфорацию в соответствии с прилагаемой трехмерной моделью полурамы (рис. 5 поз. 4). Лист следует поднять на уровень верхней грани верхней опоры шарнирного сочленения. Верхнюю часть передних стоек опорной платформы необходимо связать с задними.

Такое конструктивное изменение позволит стойкам опорной платформы не только выполнять несущую функцию для манипулятора, но и значительно компенсировать продольный изгибающий момент, действующий на полураму. При этом масса полурамы снизится, а ее прочность и усталостная долговечность будут, напротив, повышены.

Боковые части верхнего продольного листа полурамы (находящегося под кониками грузовой платформы) достаточно выполнить в виде прямого контура без дополнительных изгибов. При этом усталостная долговечность конструкции не изменится, а конструкция будет более технологичной.

Проведенные исследования показывают, что при реализации данных предложений общая масса несущих элементов конструкции технологической полурамы без учета элементов крепления на участке от шарнирного сочленения до балансирного моста будет уменьшена с 1746 кг до 1443 кг, т. е. на 303 кг.

Заключение. Использование приведенных рекомендаций по корректировке конструкторской документации существенно повышает прочность и усталостную долговечность полурамы на всех режимах нагружения. Для примера рассмотрим наиболее нагруженный режим 4Д (табл. 2). Крутящий момент на платформе

манипулятора на данном режиме превышает величину статического момента более чем в 2 раза. При этом величина действующих напряжений в зоне их максимальных значений не превышает 128 МПа (рис. 6).

Величины эквивалентных напряжений для расчетного режима нагружения 4Д (табл. 2) на участках рамы «до» и «после» внесения изменений в ее конструкцию сведены в табл. 3. Эквивалентные напряжения на большинстве рассмотренных участков снижены до 1,8–3,1 раза.

Кроме отмеченных изменений в передней части полурамы, задняя ее часть, следующая за балансирным мостом, должна, по возможности, быть выполнена в виде хребтовой, а не лонжеронной конструкции. Максимальные напряжения, действующие в этой зоне, не превышают 65 МПа, а на большинстве участков составляют 35–40 МПа, т. е. более чем в 3 раза ниже допускаемой величины. Такое изменение позволит снизить массу задней части полурамы с 168 кг до 122 кг (на 46 кг) и обеспечит требуемую усталостную долговечность.

Таким образом, минимальное достигаемое снижение массы технологической полурамы форвардера А-2631 составит 303 кг, в случае изменения задней части полурамы – 349 кг, а при уменьшении ширины рамы до 500 мм (необходима корректировка конструкции шарнирного сочленения и крепления балансирного моста) – около 520 кг. Последующее снижение массы технологической полурамы возможно только после корректировки режимов реального нагружения, выявленных в результате экспериментальной эксплуатации опытного образца.

В дополнение к проведенным исследованиям и рекомендациям по корректировке конструкторской документации следует отдельно рассмотреть размещение гидроцилиндров складывания полурам, работа которых не отражена в предлагаемой конструкции.

Литература

1. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 18–20.

2. Голякевич С. А. Математическая модель для оценки несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 65–72.

3. Голякевич С. А. Повышение надежности несущих конструкций многооперационных лесных машин выбором режимов работы на основе энергетического потенциала: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2013. 27 с.

4. Golyakevich S., Goronovsky A. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle // Transport. 2013. Issue 28 (3). P. 323–330.

5. Голякевич С. А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 72–78.

6. Gellerstedt S. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work // J. of Forest Engineering. 2002. Vol. 13, no. 2. P. 45–47.

7. Гинзбург Ю. В. Швед А. И., Парфенов А. П. Промышленные тракторы. М.: Машиностроение, 1986. 296 с.

8. Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Эффективность работы многооперационных лесозаготовительных машин с учетом ограничивающих факторов // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 8–11.

9. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.21.01. Л., 1987. 315 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. Golyakevich S. A. A mathematical model for estimating the loading of load-bearing structures of multioperational forest machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 65–72 (In Russian).

3. Golyakevich S. A. *Povyshenie nadezhnosti nesushchikh konstruksiy mnogooperatsionnykh lesnykh mashin vyborom rezhimov raboty na osnove energeticheskogo potentsiala: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increasing the reliability of load-bearing structures of multi-operation forest machines by selecting operating modes based on the energy potential. Abstract of thesis cand. techn. sci.]. Minsk, 2013. 27 p.

4. Golyakevich S., Goronovsky A. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle. *Transport*, 2013, issue 28 (3), pp. 323–330.

5. 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).

6. Gellerstedt S. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work. *J. of Forest Engineering*, 2002, vol. 13, no. 2, pp. 45–47.

7. Ginzburg Yu. V., Shved A. I., Parfenov A. P. *Promyshlennye traktory* [Industrial tractors]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 296 p.

8. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R. Efficiency of multi-operation logging machines taking into account limiting factors. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 8–11 (In Russian).

9. Zhukov A. V. *Teoreticheskie osnovy tekhnicheskikh parametrov i uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv spetsial'nykh lesnykh mashin: Avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk* [Theoretical bases of a choice of technical parameters and improvement of operational properties of special forest machines. Abstract of thesis doct. techn. sci.]. Leningrad, 1987. 315 p.

Информация об авторе

Голякевич Сергей Александрович – кандидат технических наук, 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), 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 20.02.2018

УДК 630*383.4

П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко, М. В. Цвирко
Белорусский государственный технологический университет

УКРЕПЛЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ГРУНТОВ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИЕЙ

Укрепление грунтов добавками вяжущих материалов и других веществ дает положительный результат лишь при выполнении следующих требований: размельчение (в случае обработки супесей, суглинков или глин); равномерное распределение вяжущего материала в грунте с точным соблюдением установленной добавки цемента, битума, синтетических смол и других веществ; равномерное увлажнение грунта до необходимой (оптимальной) влажности и уплотнение обработанного грунта до наибольшей плотности.

В результате названных взаимодействий укрепленный грунт должен приобретать требуемую прочность, монолитность и морозостойкость и сохранять их длительное время. Наибольшее распространение в практике дорожного строительства получили методы укрепления грунтов неорганическими и органическими вяжущими. Кроме обычных способов укрепления грунтов неорганическими и органическими вяжущими, применяют комплексные методы, когда на грунт воздействуют добавками двух вяжущих материалов с различными свойствами и оптимальным их сочетанием или добавками одного вяжущего и поверхностно-активных веществ.

Главной особенностью комплексных методов является то, что они при правильном выборе материалов и оптимальном сочетании их дозировок позволяют изменять в положительную сторону физико-химическую и химическую активность грунта, увеличивать адгезию вяжущих материалов, ускорять формирование более прочной и монолитной структуры укрепленного грунта.

В статье приведены описания эмульсий, которые могут применяться в дорожном строительстве, а также их свойства и описание получения на производстве.

Ключевые слова: битум, эмульсия, эмульгатор, укрепление, грунт, устойчивость, прочность, морозостойкость.

P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko, M. V. Tsvirko
Belarusian State Technological University

STRENGTHENING OF ROAD SOILS WITH BITUMEN EMULSION

Strengthening of soils by additives of knitting materials and other substances yields positive result only at performance of following requirements: comminution (in case of processing of sandy loams, loams or clay); uniform distribution of a knitting material in a soil with exact observance of the established additive of cement, bitumen, synthetic pitches and other substances; uniform humidifying of a soil to necessary (optimum) humidity and consolidation of the processed soil to the greatest density.

As a result of the named interactions strengthened soil should get demanded durability, solidity and frost resistance and to keep their long time. The greatest distribution to practice of road building was received by methods of strengthening of soils the inorganic and organic knitting. Except usual ways of strengthening of soils inorganic and organic knitting, apply complex method when a soil influence additives of two knitting, materials with various properties and their optimum combination or additives of one knitting and superficially active substances [1].

The main feature of complex method is that at a correct choice of materials and an optimum combination of their dosages allow to change physical-chemical and chemical activity of a soil in a positive side, to increase adhesion of knitting materials, to accelerate formation of stronger and monolithic structure of the strengthened soil.

In article description emulsion which can be applied in road building are resulted, and also their properties and their reception on manufacture is described.

Key words: bitumen, emulsion, emulsifier, strengthening, soil, stability, durability, frost resistance.

Введение. В районах дорожного строительства, где нет каменных материалов, возникает необходимость в перевозке их на большие расстояния, что увеличивает стоимость этих материалов примерно в 4–6 раз и является причиной удорожания строительства. Поэтому весьма ак-

туальна разработка методов использования и укрепления местных грунтов вяжущими материалами.

Укрепление грунтов – это совокупность строительных операций по внесению вяжущих и других веществ, обеспечивающих существ-

венное изменение свойств грунтов с приданием им требуемой прочности, деформативности, водо- и морозостойкости.

Укрепление грунтов органическими вяжущими материалами до последнего времени имело преимущественное распространение, при этом использовались главным образом жидкие битумы и дегти. Проведенные исследования показали, что целесообразнее применять битумные эмульсии [1].

Основная часть. Снижение стоимости строительства дорог и экономия органических вяжущих материалов возможны при применении битумных эмульсий.

Эмульсия представляет собой систему, состоящую из двух практически нерастворимых друг в друге жидких фаз (рис. 1).

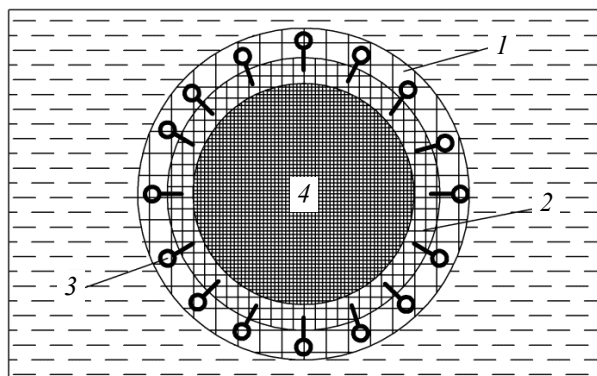
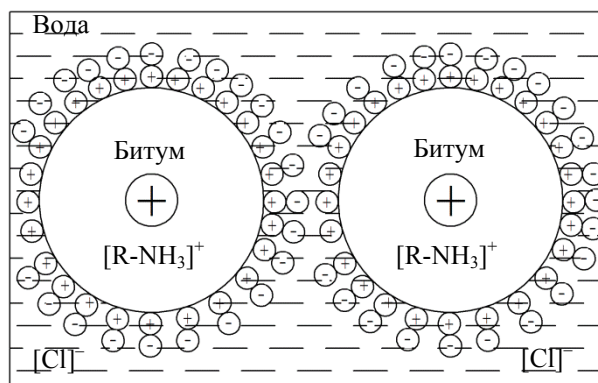


Рис. 1. Схема образования эмульсии:
1 – слой воды, примыкающие к гидрофильной части эмульгатора;
2 – слой битума, связанный с гидрофильной частью эмульгатора;
3 – частицы эмульгатора;
4 – частицы эмульгированного битума

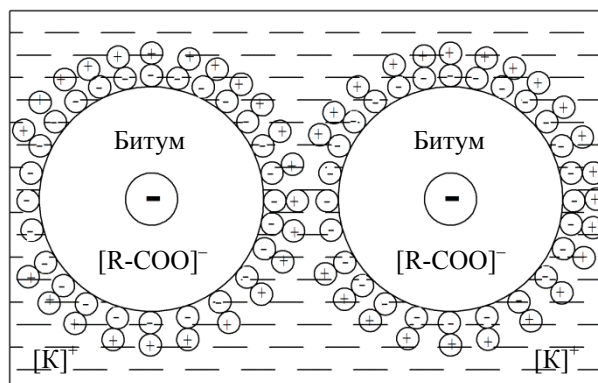
Эмульсии можно получать двумя способами – диспергированием и конденсацией. Диспергированием называется процесс механического дробления одной жидкости в другой. Для этих целей могут быть использованы различного типа установки: коллоидные мельницы, диспергаторы, ультразвуковые приборы и др. При конденсационном методе эмульсию получают путем перенасыщения гомогенного раствора двух жидкостей вследствие снижения их взаимной растворимости при добавлении к раствору третьей жидкости.

Для придания эмульсии агрегатной устойчивости при обычных и особенно высоких концентрациях дисперсной фазы используют специальные вещества, называемые эмульгаторами. Эмульгаторы – вещества, обладающие способностью придавать устойчивость эмульсиям, т. е. являющиеся их стабилизаторами. Действие эмульгатора объясняется тем, что,

сосредотачиваясь на поверхности раздела двух жидких фаз, образующих эмульсию, они препятствуют обратному слиянию (коалесценции) частиц, получающихся при диспергировании одной жидкости в другой. Происходит это потому, что молекулы эмульгаторов, состоящие из полярной и неполярной частей, неполярной частью обращены к битуму, а полярной – к воде. Такая ориентация молекул уравнивает полярности вяжущего и воды и снижает поверхностное натяжение на границе их раздела. В этом случае частицы фазы приобретают положительные или отрицательные электрические заряды: при использовании анионных эмульгаторов – отрицательные, а при катионных – положительные. Одноименно заряженные мельчайшие частицы вяжущего отталкиваются друг от друга и вследствие этого не слипаются между собой, что придает эмульсиям устойчивость (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Схема распределения электрических зарядов:
а – в анионной эмульсии;
б – в катионной эмульсии

Имеются две группы эмульгаторов, используемых для приготовления эмульсий: 1) поверхностно-активные вещества (ПАВ), растворимые в обеих фазах эмульсий (или в одной из них), сильно адсорбирующиеся на границе раз-

дела и вследствие этого понижающие межфазное поверхностное натяжение; 2) твердые высокодисперсные минеральные порошки, частицы которых, избирательно смачиваемые по разным участкам своей поверхности обеими фазами эмульсии, прилипают к межфазной поверхности раздела и бронируют капли дисперсной фазы.

Твердые эмульгаторы применяют в основном при изготовлении битумных паст и реже – дорожных эмульсий. Эмульсии на твердых эмульгаторах в своем составе содержат 50–60% битума или дегтя, 30–45% воды и 6–12% твердого эмульгатора. Пасты перед употреблением по мере необходимости разбавляют водой до требуемой вязкости. Для повышения устойчивости эмульсий на твердых эмульгаторах к ним часто добавляют органические эмульгаторы, к которым относятся сульфитно-спиртовая барда, казеин, желатин, мыла и др.

Для изготовления дорожных эмульсий чаще всего применяют водорастворимые эмульгаторы, к которым относятся анионные и катионные ПАВ. При использовании анионоактивных веществ получают щелочные (анионные) эмульсии, катионоактивных – кислые (катионные) эмульсии [14, 15].

По скорости распада эмульсии подразделяются на три класса: БА – быстрораспадающиеся анионные; СА – среднераспадающиеся анионные; МА – медленнораспадающиеся анионные. По вязкости и содержанию в них битума эмульсии классов БА и МА в свою очередь подразделяются на марки: БА-1 и БА-2, МА-1 и МА-2.

Для приготовления эмульсий используют битумы нефтяные вязкие улучшенные [2] марок БНД 200/300 ПН/1 130/200, БНД 90-130, БНД 60/90, БНД 40/60. Марку битума назначают с учетом климатических условий района строительства и конструкции дорожной одежды. Могут также применяться жидкие битумы в

случае использования эмульсий для гидропосева трав, укрепления барханных песков и т. д.

В качестве эмульгаторов рекомендуется использовать продукты, содержащие анионные ПАВ, – высшие органические кислоты (жирные, смоляные, нафтеновые, сульфонафтеновые) или их щелочные соли (мыла): асидол марки А-2, асидол мылонафт и мылонафт 1-го и 2-го сортов, нефтяные сульфокислоты марки КПг, синтетические жирные кислоты С₂₀, сосновую смолу марки В (сухоперегонную) и др [3].

В качестве щелочных веществ применяют едкий натр, жидкое стекло, триполифосфат натрия. Эмульгатор и щелочное вещество выбирают в зависимости от требуемого класса эмульсии. Эмульгатор вводят в воду или битум, а щелочное вещество – в воду.

Для стабилизации дорожных эмульсий наиболее часто применяют такие вещества, как битумная присадка БП-3, С₁₇...С₂₀, амилтриметиламмонийхлорид и др. У катионных эмульсий рН колеблется в пределах 2–6. Для приготовления дорожных эмульсий используются также таловое масло, жировой гудрон, стеарин, карбоксилламин, катионоактивные препараты ХД-180, ХД-34 и др.

Анионные эмульсии, используемые в дорожном строительстве, должны удовлетворять требованиям [3] табл. 1.

По скорости распада при обработке минеральных материалов катионные эмульсии подразделяются на: быстрораспадающиеся (БК) – до 5 мин, среднераспадающиеся (СК) – 5–10 мин и медленнораспадающиеся (МК) – более 10 мин.

Для определения скорости распада этих эмульсий рекомендуется применять кварцевый порошок, массовая доля которого составляет: для БК – менее 50%, для СК – 50–100% и МК – более 100%. Устойчивость эмульсии при транспортировании должна быть не менее 2 ч.

Таблица 1

Показатели свойств анионных эмульсий

Показатель	Нормы для марок				
	БА-1	БА-2	СА	МА-1	МА-2
Скорость распада при смешивании с цементом, мин	Менее 5		5–10	Более 10	
Содержание битума с эмульгатором, % (по массе)	55–60	45–54	55–60	51–55	40–50
Вязкость при 20°С по вискозиметру ВУ, град	5–10	2–6	6–10	2–8	1,5–5
Вязкость при 20°С по вискозиметру для нефтяных битумов с отверстием 3 мм, с	15–30	10–20	20–40	10–25	8–15
Устойчивость (при хранении) по остатку на сите с сеткой № 014, %, не более:					
через 7 дней	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7
через 30 дней	1	1	1,2	1,2	1,2

Катионные эмульсии, используемые для обработки кислых и щебеночных материалов, подразделяются на два товарных типа К-1 и К-2. Эмульсия К-1 содержит в своем составе 55–60% (по массе) битума БНД 130/200 или БНД 200/300, технической смеси алифатических аминов 1,6–1,8%, соляной кислоты (концентрированной 36%-й) – 0,6–0,7 и воды до 100%, в эмульсии К-2 технической смеси алифатических аминов содержится 0,8–0,9%.

Согласно [4, 5, 6], катионные эмульсии должны удовлетворять следующим требованиям (табл. 2).

Таблица 2

Показатели свойств катионных эмульсий

Показатель	Норма для марок		
	БК	СК	МК
Содержание битума с эмульгатором, %	50–60		
Вязкость при 20°C по вискозиметру ВУ, град	6–15		
Вязкость при 20°C по вискозиметру с диаметром сточного отверстия 3 мм, с	20–50		
Устойчивость (при хранении) по остатку на сите, %, не более:	0,3–0,5 (на сите № 014)		
	0,7–0,8 (на сите № 0,63)		

Достоинство битумных эмульсий катионного типа как вяжущего материала для дорожного

строительства в том, что они характеризуются прочным прилипанием к каменным материалам кислых пород: гранитов, кварца и др. Это обусловлено природой ПАВ и химико-минералогическим составом каменных материалов.

Дорожные битумные эмульсии применяются для получения черного щебня, пористых, плотных щебеночных и гравийно-песчаных материалов, используемых при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд; устройства защитных слоев с шероховатой поверхностью; ухода за свежееуложенным цементобетоном и цементогрунтом; закрепления откосов земляного полотна и подвижных песков; подгрунтовок под асфальтобетонные слои; при ремонтных работах и как добавка при комплексном укреплении грунтов (например, цементом, известью и др.) [7, 8, 9].

Заключение. Надежность нежесткой дорожной одежды во многом зависит от свойств основания, которое часто состоит из нескольких слоев. Верхний слой основания из битумопесчаной смеси должен обеспечивать надежную работу асфальтобетонного покрытия – образовывать вместе с ним единую упругую плиту, иметь надлежащее сцепление с покрытием и одинаковый или близкий коэффициент температурного расширения [10, 11, 12].

На основании результатов исследований [10, 13] установлено, что битумопесчаные смеси целесообразно использовать для дорожного строительства вместо крупнозернистых пористых асфальтобетонных смесей при дальности перевозки песка от карьера до асфальтобетонного завода в пределах до 100 км.

Литература

1. Безрук В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М.: Транспорт, 1971. 247 с.
2. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия: ГОСТ 22245-90. М.: М-во химической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР, 1991. 12 с.
3. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия: ГОСТ 18659-2005. М.: Издательство стандартов, 2005. 15 с.
4. Технические указания по приготовлению и применению дорожных эмульсий: ВСН 115-75. М.: Транспорт, 1976. 79 с.
5. Эмульсии битумные дорожные катионные. Технические условия: СТБ 1245-2015. Минск: Госстандарт, 2015. 28 с.
6. Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия: СТБ 1062-97. Минск: Госстандарт, 1997. 25 с.
7. Глазер М. П. Битумопесчаные смеси с добавкой нефтеполимерной смолы // Автомобильные дороги. 1970. № 1. С. 8–9.
8. Лысихина А. И. Поверхностно-активные добавки для повышения водостойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. М.: Автотрансиздат, 1959. 232 с.
9. Безрук В. М. Укрепление грунтов. М.: Транспорт, 1965. 194 с.
10. Финашин В. Н. Дорожные основания из битумопесчаных смесей. М.: Транспорт, 1984. 120 с.
11. Гегелия Д. И., Гезенцевей Л. Б. Сезонные изменения свойств асфальтобетона. М.: Автомобильные дороги. 1977. № 2. С. 24–25.
12. Безрук В. М., Тулаев А. Я. Дорожные основания из стабилизированных грунтов. М.: Дориздат, 1948. 120 с.

13. Эффективность применения укрепленных грунтов и каменных материалов в дорожных одеждах / Ю. М. Васильев [и др.] // Автомобильные дороги. 1977. № 3. С. 11–13.

14. Ястребова Л. Н., Плотникова И. А. Процессы структурообразования грунтов с битумными эмульсиями и влияние на них природы эмульгатора // Труды Союздорнии. 1965. Вып. 38. С. 70–80.

15. Иерусалимская М. Ф., Барам М. Е. Укрепление несвязных грунтов битумными эмульсиями // Труды Союздорнии. 1968. Вып. 24. С. 103–125.

References

1. Bezruk V. M. *Ukrepnenie gruntov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve* [Strengthening of soils in road and air field building]. Moscow, Transport Publ., 1971. 247 p.

2. GOST 22245-90. Bitumens the oil road viscous. Specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 12 p. (In Russian).

3. GOST 18659-2005. Emulsion the bitumen road. Specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2005. 15 p. (In Russian).

4. VSN 115-75. Technical instructions on preparation and application of a road emulsion. Moscow, Transport Publ., 1976. 79 p. (In Russian).

5. STB 1245-2015. Emulsion of bitumen road cationic. Specifications. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 28 p. (In Russian).

6. STB 1062-97. Bitumen oil for the top layer of a road covering. Specifications. Minsk, Gosstandart Publ., 1997, 25 p. (In Russian).

7. Glazer M. P. Bitumen-sand mixture with addition of petroleum resin. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways], 1970, no. 1, pp. 8–9 (In Russian).

8. Lysikhina A. I. *Poverkhnostno-aktivnye dobavki dlya povysheniya vodoustoychivosti dorozhnykh pokrytiy s primeneniem bitumov i degtey* [Surface-active of the additive for increase of water stability of road coverings with application of bitumens and tars]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1959. 232 p.

9. Bezruk V. M. *Ukrepnenie gruntov* [Strengthening of soils]. Moscow, Transport Publ., 1965. 194 p.

10. Finashin V. N. *Dorozhnye osnovaniya iz bitumopeschanykh smesey* [The road bases from bitumenpeschanye mixes]. Moscow, Transport Publ., 1984. 120 p.

11. Gegeliya D. I., Gezentsvey L. B. *Sezonnye izmeneniya svoystv asfal'tobetona* [Seasonal changes of properties of asphaltic concrete]. Moscow, Avtomobil'nye dorogi [Highways], 1977, no. 2, pp. 24–25 (In Russian).

12. Bezruk V. M., Tulaev A. Ya. *Dorozhnye osnovaniya iz stabilizirovannykh gruntov* [The road bases from the stabilized soils]. Moscow, Dorizdat Publ., 1948. 120 p. (In Russian).

13. Vasil'yev Yu. M., Gayvoransky V. N., Melnikov M. G. Efficiency of application of the strengthened soils and stone materials in road clothes. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways], 1977, no. 3, pp. 11–13 (In Russian).

14. Yastrebova L. N., Plotnikova I. A. Processes of structurization of soils with bitumen emulsion and influence on them of the nature emulsifier. *Trudy Soyuzdornii* [Work of Soyuzdornii], 1965, no. 38, pp. 70–80 (In Russian).

15. Ierusalimskaya M. F., Baram M. Ye. Strengthening of inconsistent soil bitumen emulsion. *Trudy Soyuzdornii* [Work of Soyuzdornii], no. 24, 1965, pp. 103–115 (In Russian).

Информация об авторах

Лыщик Петр Алексеевич – 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: tl@belstu.by

Бавбель Евгения Ивановна – 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: bavbel-ji@belstu.by

Науменко Андрей Иванович – кандидат технических наук, ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

Цвирко Мария Викторовна – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

Information about the authors

Lyshchik Petr Alekseevich – 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: tl@belstu.by

Bavbel Jane Ivanovna – 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: bavbel-ji@belstu.by

Naumenko Andrey Ivanovich – PhD (Engineering), assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Tsvirko Mariya Viktorovna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 05.03.2018

УДК 630*367

А. Зимелис¹, С. Е. Арико², А. Савельев³¹Латвийский государственный лесохозяйственный исследовательский институт «Силава»²Белорусский государственный технологический университет³Латвийский сельскохозяйственный университет**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ
НА ПОПЕРЕЧНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ КОРЧЕВАТЕЛЯ**

В статье рассмотрены конструктивные особенности технологического оборудования, которое применяется для извлечения пней в настоящее время, и перспективные направления его развития. Приведена сравнительная оценка результатов исследований ряда ученых, посвященных определению усилий корчевки пней и изучению способов их снижения. Учитывая широкое распространение корчевателей на гусеничном шасси в Европейских странах, нами разработана расчетная схема, позволяющая исследовать влияние различных факторов на поперечную устойчивость данных машин. Расчетная схема учитывает взаимное расположение отдельных элементов базового шасси и технологического оборудования и их габаритно-массовые параметры. Для проведения теоретических исследований в качестве базового шасси был выбран экскаватор Newholland E215B с технологическим оборудованием производства SIA «ORVI» (Республика Латвия). Критическим считался случай, когда осуществляется отрыв одной из гусениц шасси. В процессе исследования варьируемыми параметрами являлись диаметр пней, способ корчевки, высота расположения пня над опорной поверхностью, угол наклона местности, массово-геометрические параметры базового шасси и его отдельных элементов в процессе выполнения технологических операций, вылет гидроманипулятора, ширина устанавливаемых на корчевателе гусениц. На основе проведенных исследований даны рекомендации по повышению эффективности эксплуатации корчевателей.

Ключевые слова: корчеватель, поперечная устойчивость, расчетная схема, параметры шасси, диаметр пня, ширина гусеницы.

A. Zimelis¹, S. Ye. Ariko², A. Savel'yev¹Latvian State Forest Research Institute "Silava"²Belarusian State Technological University³Latvian University of Agriculture**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS
ON THE TRANSVERSE SUSTAINABILITY OF THE STUMP PROCESSOR**

The article deals with the design features of the technological equipment, which is used to extract stumps at present and prospective directions for their development. A comparative evaluation of the results of studies of a number of scientists devoted to determining the efforts of stump rooting and studying methods for their reduction is given. Given the wide distribution of the stump processor on the caterpillar chassis in European countries, we will consider a calculation scheme that allows investigating the influence of various factors on the transverse stability of machines. The design scheme takes into account the relative position of the individual elements of the base chassis and technological equipment and their overall mass parameters. To carry out theoretical studies, the Newholland E215B excavator was selected as the basic chassis with technological equipment manufactured by SIA "ORVI" (Republic of Latvia). Critical was the case when the separation of one of the chassis tracks is carried out. In the process of the study varied the parameters: the diameter of the stumps, the way of stump processor, the height of the stump above the bearing surface, the angle of the clone of the terrain, the mass-geometric parameters of the base chassis and its individual elements in the process of performing the technological operations, the outlet of the hydromanipulator, the width of the caterpillars installed on the stump processor. On the basis of the research, recommendations are given to increase the efficiency of the operation of the stump processor.

Key words: stump processor, transverse sustainability, design scheme, chassis parameters, diameter of stumps, caterpillar width.

Введение. В настоящее время актуальным направлением является разработка и внедрение оборудования и машин для корчевки пней, что обеспечивает повышение эффективности выполнения лесохозяйственных и лесовосстанови-

тельных работ [1–4]. При небольшом объеме работ корчевка пней осуществляется с помощью ковша экскаватора, однако ведутся работы по созданию более современных машин для корчевания и подготовки лесных площадей под по-

садку культур [5–9]. Так шведская фирма Gremo представила радиоуправляемую машину [2, 10] с манипулятором и специальным корчевателем в виде изогнутой вилки с механизмом раскалывания (рис. 1, а). Для очистки лесосек от пней, камней и крупных порубочных остатков на отечественных предприятиях широкое распространение получила корчевальная машина КМ-1 (рис. 1, в), представляющая собой лесной трактор с передней навеской рабочего органа в виде зубьев, позволяющих осуществлять корчевку за счет тягового усилия, подъемной силы или сочетания того и другого [5–7]. Аналогичную компоновку имеют корчеватели, создаваемые на базе бульдозеров путем навешивания корчевального оборудования МП-18-6 Мозырского машиностроительного завода (рис. 1, з) [5].

В странах Скандинавии для корчевания пней и корней чаще всего применяются гусеничные экскаваторы со специальным оборудованием (рис. 2). При этом на стрелу экскаватора навешивается вилочный корчеватель, представляющий собой изогнутую вилку с несколькими зубьями или вилку с зубьями, копательной лопаткой и раскалывающим механизмом [2, 10].

Выбор корчевальной машины и способа корчевки зависит от применяемых технологий, количества и диаметра пней, имеющегося парка машин, их компоновочных решений и технических характеристик. При этом наименее изученными являются корчеватели, создаваемые на экскаваторном шасси.

Основная часть. При работе манипуляторных машин основным эксплуатационным параметром, ограничивающим функциональные возможности, является поперечная устойчивость [11, 12], на которую оказывают влияние кроме массово-геометрических параметров динамические процессы и компоновочные параметры технологического оборудования [12–15]. При этом отсутствуют методики, позволяющие рекомендовать режимы эксплуатации данного оборудования и базового шасси при корчевке пней. Учитывая, что эффективность применения манипуляторных корчевальных машин в значительной степени ограничена грузоподъемностью манипулятора, первоочередной задачей являлось установление зависимости влияния диаметра пня на усилие корчевки.

В данном направлении работал Савич В. Л., который установил зависимость вертикального усилия корчевки от диаметра пня, при этом погрешность результатов теоретических и экспериментальных исследований составила 8–10% [16].

Аналогичные исследования проводил Солдатенков В. И. [17], которым установлено, что при удалении пней необходимо выделить две стадии формирования сил сопротивления. Первая стадия связана с внедрением рабочего органа в земляную поверхность вокруг корчуемого пня, в результате которого происходит перерезание как грунта, так и части корневой системы; вторая – связана с вертикальным подъемом пня.



а



б



в



з

Рис. 1. Компоновочные схемы корчевателей:
а – Gremo Besten; б – WESTTECH G1250; в – КМ-1; з – МП-18-6



Рис. 2. Рабочие органы для корчевания:

а – изогнутая вилка с несколькими зубьями; *б* – изогнутая вилка с зубьями, копательной лопаткой и раскалывающим механизмом; *в* – корчеватель с захватами и механизмом дробления

На рис. 3 представлены зависимости требуемых усилий на корчевку, установленные Савичем В. Л. (P_1) [15], Солдатенковым В. И. (P_2) [16] и Египко С. В. [17].

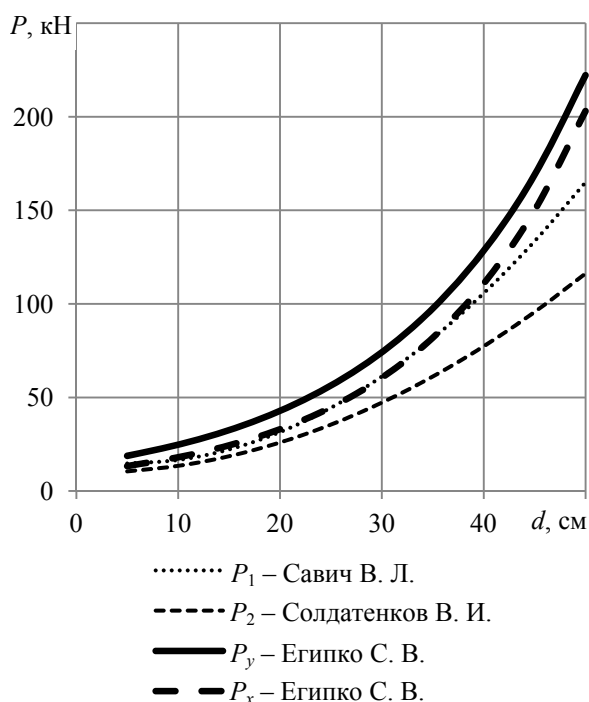


Рис. 3. Изменение усилий корчевки от диаметра пня

Для моделирования процесса работы корчевателя применялись результаты исследований Египко С. В., который установил необходимые усилия (рис. 3) на корчевку пней вертикальным (P_y) и горизонтальным (P_x) движением [17].

Для исследования влияния на эксплуатационные свойства корчевателя параметров пней, способов корчевки и массо-геометрических параметров базового шасси была разработана расчетная схема (рис. 4), учитывающая расположение отдельных элементов машины в процессе выполнения технологических операций.

Разработанная с учетом вышеперечисленных результатов модель позволяет производить оценку устойчивости базового шасси манипу-

ляторного типа при осуществлении операций корчевки, а также осуществлять оценку эффективности применения различных приемов работы в зависимости от уклона местности, диаметра пня и высоты его расположения, а также технических характеристик базового шасси.

Для исследования в качестве базового шасси был выбран экскаватор Newholland E215B с технологическим оборудованием производства SIA «ORVI» (Республика Латвия), оценка поперечной устойчивости которого производилась на основании изменения реакций под гусеницами.

При исследовании критическим считался момент, когда происходит отрыв гусеницы от опорной поверхности. Исходя из приведенной выше схемы реакции R_1 и R_2 определяются по выражениям:

$$R_1 = [G_2(L_2 + 0,5B + 0,5l) \cos \alpha - G_2 h_2 \sin \alpha + G_1(L_1 + 0,5B + 0,5l) \cos \alpha - G_1 h_1 \sin \alpha - G_3(L_3 - 0,5B - 0,5l) \cos \alpha - G_3 h_3 \sin \alpha - G_4(L_4 - 0,5B - 0,5l) \cos \alpha - G_4 h_4 \sin \alpha - (G_5 + G_6)(L_5 - 0,5B - 0,5l) \cos \alpha - G_5 h_5 \sin \alpha - G_6 h_6 \sin \alpha - P_y(L_5 - 0,5B - 0,5l) \sin \varphi + P_x h_6 \cos \varphi] / (B + 0,5l),$$

$$R_2 = [-G_2(L_2 - 0,5B) \cos \alpha + G_2 h_2 \sin \alpha + G_1(0,5B - L_1) \cos \alpha + G_1 h_1 \sin \alpha + G_3(L_3 + 0,5B) \cos \alpha + G_3 h_3 \sin \alpha + G_4(L_4 + 0,5B) \cos \alpha + G_4 h_4 \sin \alpha + (G_5 + G_6)(L_5 + 0,5B) \cos \alpha + G_5 h_5 \sin \alpha + G_6 h_6 \sin \alpha + P_y(L_5 + 0,5B) \sin \varphi - P_x h_6 \cos \varphi] / (B + 0,5l).$$

В процессе исследований варьируемыми параметрами являлись: диаметр пня, высота его расположения над поверхностью земли, направление действия корчующего усилия, вылет гидроманипулятора и ширина гусеницы.

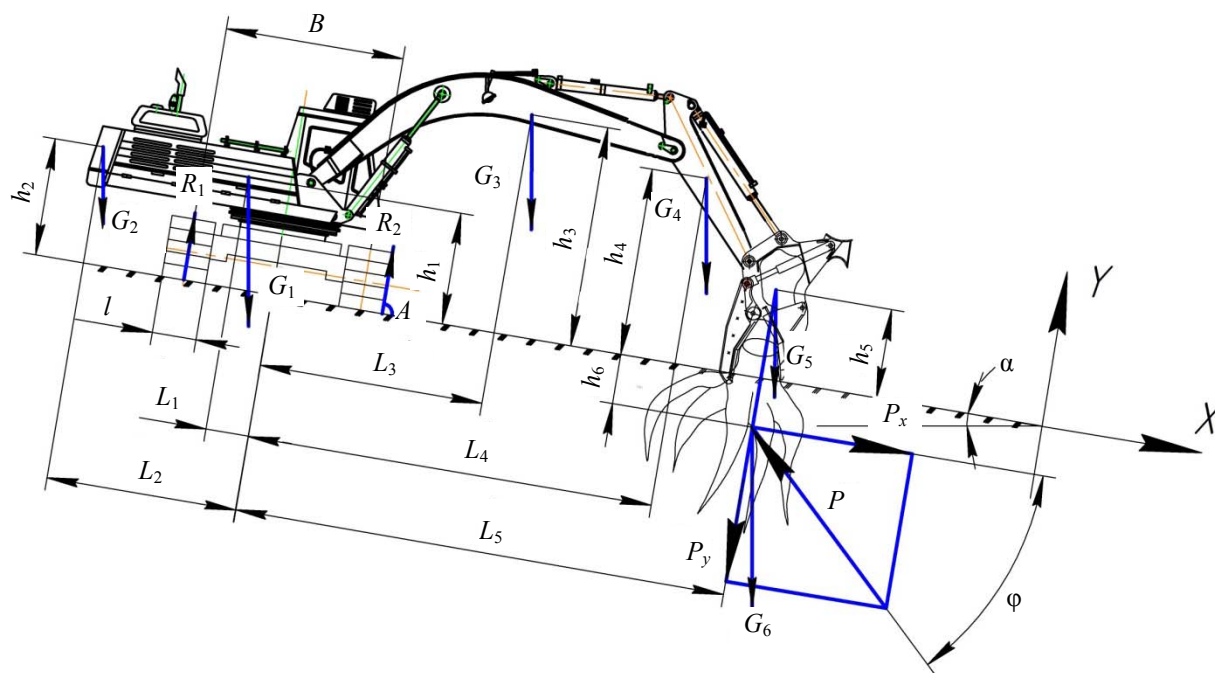


Рис. 4. Расчетная схема корчевателя:

G_1-G_6 – вес базового шасси, противовеса, стрелы и рукояти гидроманипулятора, технологического оборудования и пня соответственно, Н; L_1-L_5 – расстояния от продольной оси базового шасси до его центра тяжести, центров тяжести противовеса, стрелы и рукояти гидроманипулятора, корчюемого пня, м; h_1-h_5 – высоты расположения центров тяжести шасси, противовеса, стрелы и рукояти гидроманипулятора, технологического оборудования и корчюемого пня, м; h_6 – высоты расположения горизонтальной составляющей над опорной поверхностью, м; B – база, м; l – ширина гусеницы, м; P_x, P_y – касательная и нормальная составляющие сопротивления пня корчеванию, Н; P – усилие, необходимое для корчевки, Н; α – уклон местности, град; φ – угол между направлением корчевки и опорной поверхностью, град; A – точка опрокидывания; R_1, R_2 – реакции под гусеницами, Н

Установлено, что увеличение вылета гидроманипулятора (рис. 5) приводит к существенному снижению эксплуатационных свойств.

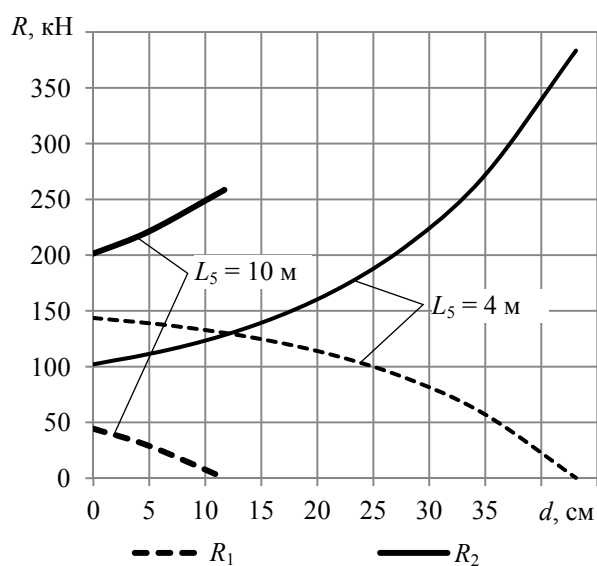


Рис. 5. Влияние диаметра пня (d) и вылета гидроманипулятора (L_5) на распределение опорных реакций корчевателя

Так при корчевке пней на минимальном вылете гидроманипулятора ($L_{\min} = 4$ м) вертикальным усилием без потери устойчивости корчевателя обеспечивается обработка пней максимальным диаметром до 43 см. При увеличении вылета гидроманипулятора в 2,5 раза максимальный диаметр корчюемого пня снижается до 11,7 см.

При работе на уклоне предпочтительным является осуществление корчевки пня, расположенного со стороны возвышенности. Установлено, что при работе на максимальном вылете манипулятора под уклон в 30° корчеватель может осуществлять корчевку пней диаметром до 20 см (рис. 6), а в случае работы с уклона в 10° данная машина не сможет корчевать пни диаметром более 6 см ввиду потери устойчивости, заключающейся в отрыве гусеницы от опорной поверхности.

Кроме рассмотренных выше факторов существенное влияние оказывает способ корчевки, который может осуществляться вертикальным движением технологического оборудования ($\varphi = 90^\circ$), горизонтальным к ($\varphi = 0^\circ$) или от ($\varphi = 180^\circ$) машины и комбинированным к ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) или от

($90^\circ < \varphi < 180^\circ$) машины. В результате теоретических исследований установлено, что при осуществлении корчевки пня вертикальным движением технологического оборудования требуемое усилие является наименьшим (рис. 3), однако данный способ не является наиболее эффективным с точки зрения обеспечения высоких эксплуатационных свойств. Так в случае корчевки пня на горизонтальной поверхности движением технологического оборудования к машине под углом 30° к опорной поверхности обеспечивается увеличение опорной реакции R_1 под разгружаемой гусеницей в 2,16–6,25 раза (рис. 7) при изменении диаметра корчюемого пня от 5 см до 10 см, при этом обеспечивается возможность обработки деревьев диаметром до 25 см. Наибольшая устойчивость корчевателя обеспечивается при горизонтальной корчевке пня. При этом обеспечивается корчевка пней диаметром свыше 50 см, а максимальный диаметр ограничивается сцепными свойствами машины.

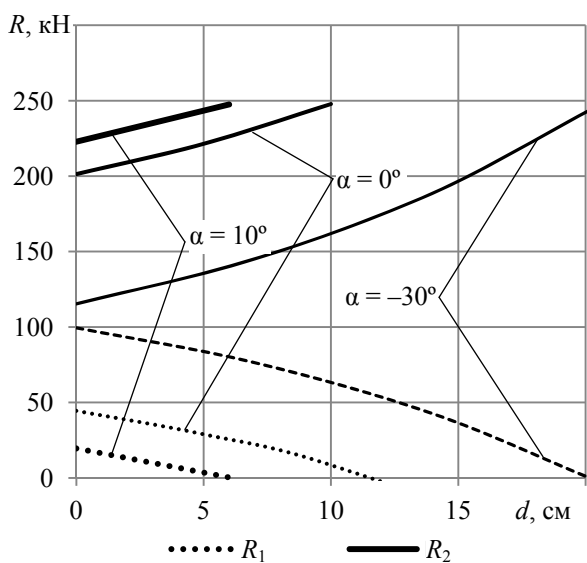


Рис. 6. Влияние диаметра пня (d) и уклона местности (α) на распределение опорных реакций корчевателя

Изменение реакций под гусеницами корчевателя при горизонтальном способе извлечения пня зависит от направления усилия корчевки и расположения пня по отношению к горизонту (рис. 8).

Исходя из полученных зависимостей видно, что при расположении усилия корчевки ниже опорной поверхности обеспечивается повышение устойчивости машины. Так при расположении пня над опорной поверхностью происходит уменьшение опорной реакции под разгружаемой гусеницей от 0,53 кН ($d = 5$ см) до 8,2 кН ($d = 50$ см) на каждые 10 см подъема, а в

случае расположения пня ниже опорной поверхности происходит увеличение опорной реакции под разгружаемой гусеницей от 0,53 кН ($d = 5$ см) до 8,2 кН ($d = 50$ см) на каждые 10 см опускания.

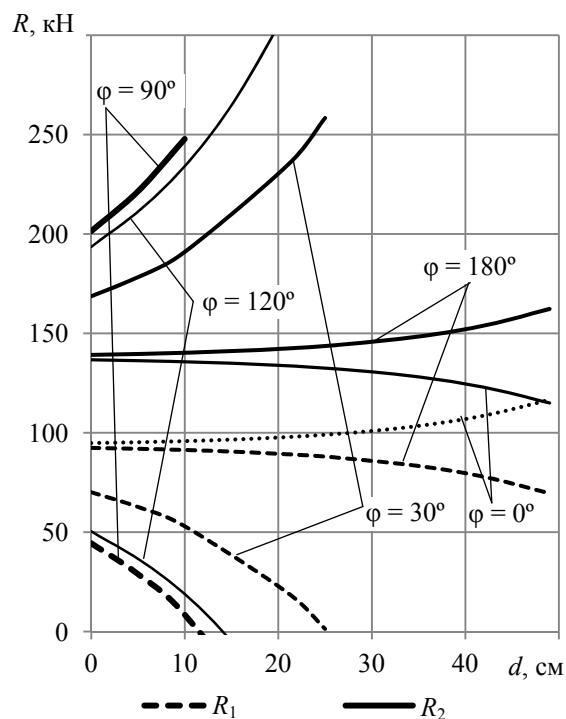


Рис. 7. Влияние диаметра пня (d) и угла (α) между направлением корчевки и опорной поверхностью на распределение опорных реакций корчевателя

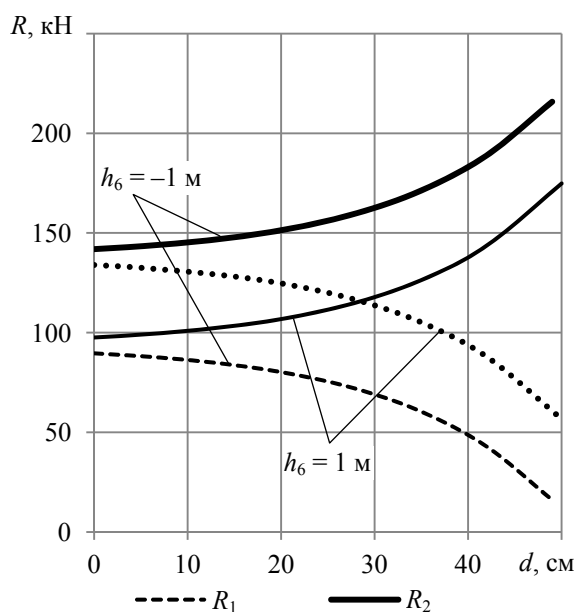


Рис. 8. Влияние диаметра пня (d) и высоты (h_6) расположения горизонтальной составляющей усилия корчевки над опорной поверхностью на распределение опорных реакций корчевателя

Следует отметить, что на экскаваторе Newholland E215B могут устанавливаться гусеницы шириной 600, 750 и 900 мм. При этом их габаритные и массовые параметры не оказывают существенного влияния на поперечную устойчивость. Установка гусениц шириной 900 мм вместо 600 мм при работе на максимальном вылете позволит обеспечить возможность обработки пней диаметром до 16 см вместо 12 см. Их применение также дает возможность повысить проходимость корчевателя.

Заключение. В процессе исследований было установлено, что в настоящее время для извлечения пней применяется достаточно разнообразное технологическое оборудование, имеющее различные габаритно-массовые и технические характеристики, а также отличающееся конструктивным исполнением. При этом на процесс корчевания существенное влияние оказывают не только параметры базового шасси и корчующего пня, но и приемы работы. В последние годы в качестве базового шасси все большее распространение находят гусеничные машины, оснащенные гидроманипулятором и рабочим органом для корчевания. Для оценки функциональных свойств данных машин разработана расчетная схема и проведены теоретические исследования влияния различных факторов на поперечную устойчивость. К основным признакам потери устойчивости относятся: отрыв от плоскости склона одной из гусениц; необратимая потеря устойчивости всей машины и ее опрокидывание. В качестве критического признака потери устойчивости следует рассматривать случай отрыва одной из гусениц, так как при эксплуатации корчевателя в данном случае не обеспечивается безопасность работы [12]. Для проведения теоретических исследований в качестве базового шасси был выбран экскаватор Newholland E215B с технологическим

оборудованием производства SIA «ORVI» (Республика Латвия).

В результате исследований было установлено, что при осуществлении корчевки вертикальным усилием потеря устойчивости базового шасси наступает при меньших параметрах пня. В случае корчевки пней движением к себе под углом 60° к вертикальной оси устойчивость против опрокидывания увеличивается в 2,16–6,25 раза в зависимости от диаметра обрабатываемого пня. При этом в случае корчевки пня движением близким к горизонтальному продольная устойчивость шасси обеспечивает возможность корчевки пней диаметром до 50 см на максимальном вылете. Однако при работе на грунтах с низкой несущей способностью существует вероятность бокового сползания.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что для обеспечения эффективности эксплуатации корчевателя извлечение пней на максимальном вылете рекомендуется выполнять под уклон движением технологического оборудования, которое направлено параллельно опорной поверхности. При этом в случае расположения пня выше опорной поверхности большая поперечная устойчивость обеспечивается при движении технологического оборудования от машины, а в случае расположения пня ниже опорной поверхности корчевку следует осуществлять движением к базовой машине. Разработанная расчетная модель позволяет производить оценку эксплуатационных свойств машин манипуляторного типа, осуществляющих корчевку пней вертикальным, горизонтальным или комбинированным движением, сравнивать корчеватели, создаваемые на базе гусеничных манипуляторных машин различных производителей, давать рекомендации по повышению эффективности работы данной техники в различных природно-производственных условиях эксплуатации.

Литература

1. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
2. Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транспортировка и сжигание / В. С. Сюнев [и др.]. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 123 с.
3. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.
4. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / С. П. Мохов [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 178–181.
5. Арико С. Е., Смяян А. И., Симанович В. А. Дорожно-строительные машины. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 124 с.
6. Лесохозяйственные машины. Практикум / М. К. Асмоловский [и др.]. Минск: БГТУ, 2017. 92 с.
7. Асмоловский М. К., Пищов С. Н., Арико С. Е. Механизация лесохозяйственных работ. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2014. 92 с.
8. Применение фрезерного оборудования в лесном комплексе Республики Беларусь / С. Е. Арико [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар.

науч.-техн. конф., Могилев, 27–28 апр. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т. Могилев, 2017. С. 197–198.

9. Разработка многофункционального шасси для проведения лесохозяйственных работ / В. Н. Лой [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 124–126.

10. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет / В. С. Сютёв [и др.]. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии. METLA, 2011. 143 с.

11. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.

12. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 225 с.

13. Симанович В. А., Кононович Д. А., Исаченков В. С. Влияние динамической нагруженности на эксплуатационные показатели колесных лесных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 54–57.

14. Симанович В. А., Исаченков В. С., Арико С. Е. Математическое моделирование динамических процессов как основной метод при исследовании колесных лесных агрегатных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 182–186.

15. Особенности конструкционного исполнения технологического оборудования лесных погрузочно-транспортных машин / Д. А. Кононович [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 59–62.

16. Савич В. Л. Обоснование основных параметров оборудования для виброкорчевки пней и целых деревьев: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Петрозаводск, 2013. 24 с.

17. Савич В. Л., Солдатенков В. И. К вопросу определения удельных затрат и производительности машины при корчевке пней вертикальным способом // Сборник научных трудов: материалы науч.-техн. конф., Ухта, 14–17 апр. 2009 г. Ухта: УГТУ, 2009. С. 80–82.

18. Египко С. В. Совершенствование технологии корчевания пней комбинированным способом // Природообустройство. 2009. № 1. С. 97–99.

References

1. Nikishov V. D. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Comprehensive use of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 264 p.

2. Syunyov V. S., Petukhin A. V., Vasiliev S. B., Galaktionov O. N., Kuznetsov A. V., Selivertov A. A., Sukhanov Yu. V., Kholodkov V. S. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnoy biomassy: zagotovka, transportirovka i szhiganiye* [Energy use of woody biomass: harvesting, transportation and burning]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2014. 123 p.

3. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p.

4. Mokhov S. P., Korobkin V. A., Golyakevich S. A., Kononovich D. A. [Perspective complex machines for collection and transportation logging waste]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging industry: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 178–181 (In Russian).

5. Ariko S. Ye., Smeyan A. I., Simanovich V. A. *Dorozhno-stroitel'nye mashiny. Laboratornyy praktikum* [Road construction machinery. Laboratory practical]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 124 p.

6. Asmolovskiy M. K., Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Germanovich A. O. *Lesokhozyaystvennyye mashiny. Praktikum* [Forestry machines. Practical]. Minsk, BGTU Publ., 2017. 92 p.

7. Asmolovskiy M. K., Pishchov S. N., Ariko S. Ye. *Mekhanizatsiya lesokhozyaystvennykh rabot. Laboratornyy praktikum* [Mechanization of forestry operations. Laboratory practical]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 92 p.

8. Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Simanovich V. A., Dudko Ye. M. [The use of milling equipment in the forestry complex of the Republic of Belarus]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Materials, equipment and resource-saving technologies)]. Mogilev, 2017, pp. 197–198 (In Russian).

9. Loy V. N., Ariko S. Ye., Asmolovskiy M. K., Germanovich A. O., Dudko Ye. M. [Development of a multi-functional chassis for forestry operations]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya)*. [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging production: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 124–126 (In Russian).

10. Syunев V. S., Seliverstov A. A., Gerasimov Yu. Yu., Sokolov A. P. *Lesosechnye mashiny v fokuse bioenergetiki: konstruktсии, proektirovanie, raschet* [Lesossechnye machines in focus bioenergetics: design, design, calculation]. Joensuu, METLA Publ., 2011. 143 p.

11. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.

12. Ariko S. Ye. *Obosnovanie parametrov valочно-suchkorezno-raskryzhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya. Dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation of felling-delimiting-bucking machine characteristics for intermediate forest exploitation cutting. Cand. Diss]. Minsk, 2012. 225 p.

13. Simanovich V. A., Kononovich D. A., Isachenkov V. S. Influence on dynamic loading performance wheel forestry machinery. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 54–57 (In Russian).

14. Simanovich V. A., Isachenkov V. S., Ariko S. Ye. [Mathematical modeling of dynamic processes as the main method in the study of wheeled forest aggregates]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy Konferentsii (Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya)*. [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging production: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 182–186 (In Russian).

15. Kononovich D. A., Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Golyakevich S. A. Features of the structural design of the technological equipment of forestry handling vehicles. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 59–62 (In Russian).

16. Savich V. L. *Obosnovanie osnovnykh parametrov oborudovaniya dlya vibrokorchevki pney i tselykh derev'ev: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation of the basic parameters of the equipment for vibrating the stumps and whole trees. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Petrozavodsk, 2013. 24 p.

17. Savich V. L., Soldatenkov V. I. [To the question of determining the unit costs and productivity of a machine when stumps are stabbed vertically]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Sbornik nauchnykh trudov)* [Materials of the Scientific and Technical Conference (Collection of scientific papers)]. Ukhta, 2009, pp. 80–82 (In Russian).

18. Egipko S. V. Improvement of stump extraction technology in a combined way. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], 2009, no. 1, pp. 97–99 (In Russian).

Информация об авторах

Агрис Зимелис – магистр технических наук, научный сотрудник. Латвийский государственный лесохозяйственный исследовательский институт «Силава» (LV-2169, Саласпилс, ул. Рига, 111, Республика Латвия). E-mail: agris.zimelis@llu.lv

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, 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

Савельев Александр – доктор технических наук, доцент кафедры лесопользования. Латвийский сельскохозяйственный университет (LV-3001, г. Елгава, ул. Лиела, 2, Республика Латвия). E-mail: silvasav@inbox.lv

Information about the authors

Zimelis Agris – Master of Engineering, researcher. Latvian State Forest Research Institute “Silava” (111, Riga str., LV-2169, Salaspils, Republic of Latvia). E-mail: agris.zimelis@llu.lv

Ariko Sergey Yevgen'yevich – PhD (Engineering), 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

Savel'yev Aleksandr – DSc (Engineering), Assistant Professor, the Department of Forest Management. Latvian University of Agriculture (2, Liela str., LV-3001, Jelgava, Republic of Latvia). E-mail: silvasav@inbox.lv

Поступила 28.02.2018

УДК 630*36

В. А. Коробкин¹, С. П. Мохов², Д. А. Кононович², С. Е. Арико²¹ОАО «Минский тракторный завод»²Белорусский государственный технологический университет**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МАШИНЫ ДЛЯ СБОРА ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

В рамках выполнения совместной научно-исследовательской работы БГТУ и ОАО «Минский тракторный завод» разработан опытный образец машины для сбора лесосечных отходов. Для определения соответствия технико-эксплуатационных показателей опытного образца требованиям технического задания, проекта технических условий и требованиям стандартов, технической и технологической документации были проведены предварительные и исследовательские испытания. Во время их проведения были установлены мощностные параметры, необходимые для выполнения отдельных операций технологического цикла в зависимости от количества образующихся лесосечных отходов, выполнена оценка динамической нагруженности шасси и технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов, а также определен необходимый объем доработки опытного образца и корректировки конструкторской документации. В процессе проведения исследовательских испытаний также были найдены величины реакций под колесами базового трактора в зависимости от расположения технологического оборудования, определены усилия, возникающие в элементах технологического оборудования при осуществлении очистки лесосеки от лесосечных отходов, а также при преодолении единичной неровности в виде пня, в зависимости от различного его диаметра и высоты. При проведении экспериментальных исследований использовалось высокоточное измерительное оборудование.

Ключевые слова: машина, технологическое оборудование, испытания, измерительное оборудование, лесосечные отходы, лесосека, пень.

V. A. Korobkin¹, S. P. Mokhov², D. A. Kononovich², S. Ye. Ariko²¹OJSC “Minsk Tractor Works”²Belarusian State Technological University**RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES
MACHINE FOR COLLECTION OF FOREST RESIDUES**

Within the framework of the joint research work of the Belarusian State Technical University and OJSC “Minsk Tractor Works”, a prototype of a machine for harvesting logging was developed. Preliminary and research tests were carried out to determine the compliance of the technical and operational parameters of the prototype with the requirements of the terms of reference, the draft technical conditions and the requirements of standards, technical and technological documentation. During their holding, the power parameters necessary for performing certain operations of the technological cycle were established, depending on the amount of logging waste generated, the dynamic loading of the chassis and the technological equipment of the machine for collection of logging wastes was assessed, and the necessary amount of modification of the prototype and adjustment of the design documentation. In the process of carrying out the research tests, the reaction values under the wheels of the base tractor were also found depending on the location of the process equipment, the forces arising in the elements of the process equipment during cleaning of the cutting area from the logging wastes, as well as in overcoming the unevenness in the form of a stump, depending on its various diameter and height. Precision measuring equipment was used in conducting the experimental studies.

Key words: machine, technological equipment, testing, testing equipment, forest residues, cutting area, stump.

Введение. Одно из основных направлений развития лесной отрасли республики связано с созданием и внедрением перспективных и высокопроизводительных лесных машин отечественного производства на предприятиях Министерства лесного хозяйства. При этом повышение эффективности заготовки древесины достигается путем механизации лесозаготови-

тельных работ [1, 2, 3]. В этой связи, в рамках государственной научно-технической программы на 2016–2017 гг. ОАО «Минский тракторный завод» совместно с БГТУ разработали опытный образец машины для сбора лесосечных отходов, позволяющий осуществлять очистку лесосек от лесосечных отходов с предварительным их сбором в валы. С целью оценки

соответствия параметров машины и технологического оборудования требованиям нормативно-технической документации, определения эксплуатационных свойств, а также выявления узлов и агрегатов, требующих доработки, были проведены предварительные и исследовательские испытания [4, 5].

Основная часть. Перед проведением предварительных и исследовательских испытаний машины для сбора лесосечных отходов была разработана программа-методика с учетом действующих нормативных документов и имеющегося высокоточного измерительного оборудования. Испытания машины проводились в природно-производственных условиях Дивинского опытно-производственного и Петровичского лесхозов ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз». Машина для сбора лесосечных отходов состоит из базового трактора Л82.2 и устанавливаемого специального технологического оборудования (рис. 1).



Рис. 1. Машина для сбора лесосечных отходов

Технологическое оборудование с целью повышения агрегируемости может устанавливаться на базовый трактор различными способами. Первый способ связан с установкой на передний брус трактора подъемного механизма (навесной системы), второй предусматривает установку технологического оборудования на заднюю гидравлическую навеску трактора без подъемного механизма и третий – установку технологического оборудования на толкатель трелевочных тракторов ТТР-401М и ТТР-411 [6]. Для монтажа оборудования на толкатель служат два переходных кронштейна, один из которых при помощи болтового соединения крепится неподвижно посередине к верхней кромке толкателя, а другой охватывает нож толкателя и фиксируется на нем при помощи поджимных болтов. Крепление технологического оборудования к переходным кронштейнам осуществляется при помощи

пальцев и проушин, приваренных к раме. Через эти же проушины оборудование устанавливается на тяги задней гидравлической навески базового трактора. Для установки оборудования на опорную поверхность после его демонтажа имеются две опоры, закрепленные на раме оборудования.

Конструкция технологического оборудования для сбора лесосечных отходов представлена на рис. 2.

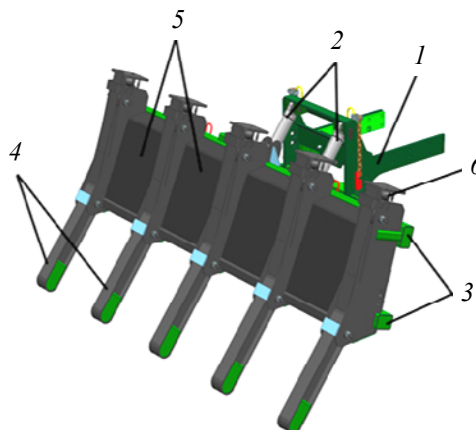


Рис. 2. Технологическое оборудование для сбора лесосечных отходов:

- 1 – подъемный механизм (навесная система);
- 2 – гидроцилиндры; 3 – рама оборудования;
- 4 – рабочий орган (зуб); 5 – защита; 6 – демпфер

Технические характеристики технологического оборудования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики технологического оборудования для сбора лесосечных отходов

Параметр	Значение
Масса, кг	400
Ширина полосы, убираемой за один проход, мм	2400
Число подвижных рабочих элементов, шт.	5
Высота преодолеваемых препятствий (пней), мм	250
Длина/ширина/высота, мм	930/2480/1170

В процессе проведения экспериментальных исследований регистрация параметров проводилась специальной измерительной аппаратурой в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и переносного персонального компьютера (рис. 3, а). Определение силовых параметров выполнялось с помощью тензамет-

рического датчика силы U9B производства НВМ (рис. 3, в) и устройств деформаций УД-1 (рис. 3, б). Питание измерительного оборудования осуществлялось от аккумуляторной батареи фирмы Zubr Standart (60Ah) [7, 8, 9].

Программное обеспечение Catman позволяло осуществлять настройку, производить тарировку и проверку работоспособности датчиков. Запись измеряемых параметров производилась на жесткий диск компьютера и сопровождалась графической визуализацией процесса. Для каждого канала была установлена частота опроса датчиков 50 Гц. В результате измерений получены массивы значений измеряемых параметров в цифровом формате, соответствующие реальному времени с дискретностью 0,02 с. Регистрация определяемого параметра производилась тензометрическим методом с относительной погрешностью 0,5%. Обработка полученных массивов данных выполнялась методами математической статистики [10, 11].



Рис. 3. Измерительное оборудование:
а – многофункциональное измерительное оборудование Spider 8, переносной персональный компьютер с аккумулятором и адаптером;
б – датчик силы U9B; в – устройство деформации УД-1

Монтаж датчика силы U9B осуществлялся через предварительно изготовленный специальный кронштейн, который позволял сохранять первоначальные размеры и натяжение пружины (рис. 3, б).

Установка технологического оборудования для сбора лесосечных отходов различными способами приводит к перераспределению реакций под колесами базового трактора, что в свою очередь влияет на тягово-сцепные свойства и проходимость [12]. В связи с этим, при проведении экспериментальных исследований были рассмотрены различные варианты установки технологического оборудования для сбора лесосечных отходов на базовый трактор: на переднем бруске трактора (рис. 4, а) и на заднем навесном устройстве (рис. 4, б). Перед установкой технологического оборудования для сбора лесосечных отходов определялись реакции под колесами базового трактора (рис. 3, в).



Рис. 4. Установка технологического оборудования для сбора лесосечных отходов:
а – установка технологического оборудования на переднем бруске трактора;
б – установка оборудования на задней навеске;
в – определение реакций под колесами базового трактора

В результате определения величин реакций под колесами машины для сбора лесосечных отходов установлено, что в базовом тракторе Л82.2 (без технологического оборудования) на переднюю ось приходится 17,5 кН, а на заднюю ось – 31 кН. При установке технологического оборудования для сбора лесосечных отходов на передний брус трактора величина реакции под

передней осью возрастает до 25 кН, а задней оси снижается до 27 кН. В случае установки технологического оборудования на задней навесной системе трактора 82.1 (масса без балласта которого составляет 39 кН) величина реакции под задней осью составит 33 кН, а под передней осью – 14,4 кН.

В рабочем положении технологического оборудования для сбора лесосечных отходов реакции под колесами трактора будут иметь другие величины. Так, технологическое оборудование, установленное на задней гидравлической навеске трактора 82.1, при переводе в рабочее положение на жесткое основание будет способствовать увеличению величины реакции (догрузка) под передней осью до 23,2 кН, а на задней оси будет осуществляться снижение нагрузки (разгрузка) до 25,2 кН (рис. 5).

В процессе исследования перераспределения величин реакций под колесами базового трактора и эффективности очистки лесосеки в зависимости от различной компоновки технологического оборудования установлено, что при использовании оборудования на задней навеске трактора производительность сбора лесосечных отходов в валы снижается на протяжении рабочей смены. Это связано с утомляемостью оператора, так как из-за отсутствия реверсивного поста управления в базовом тракторе Л82.2 оператор вынужден контролировать

процесс сбора лесосечных отходов при движении трактора задним ходом в повернутом положении. Наиболее рационально устанавливать технологическое оборудование на передний брус трактора Л82.2. Это основывается на равномерном распределении реакций под колесами базового трактора, а также позволяет снизить утомляемость оператора, повысить удобство управления оборудованием, что в конечном счете приведет к увеличению производительности.

Установлено, что при осуществлении операции сбора лесосечных отходов наиболее динамически нагруженным процессом будет являться преодоление препятствий в виде пней, камней, корней, неровностей волока. Основным элементом для снижения таких нагрузок и возврата рабочего элемента (зуба) в конструкции для сбора лесосечных отходов служит пружина [13, 14, 15].

Конструкция технологического оборудования предусматривает возможность предварительного натяга пружины, необходимого для устранения зазоров между элементами, влияющих на правильную и эффективную работу оборудования. Для определения величин усилий, возникающих в пружине при очистке лесосеки от лесосечных отходов, устанавливался датчик силы U9B и осуществлялась регистрация данного параметра (рис. 6).

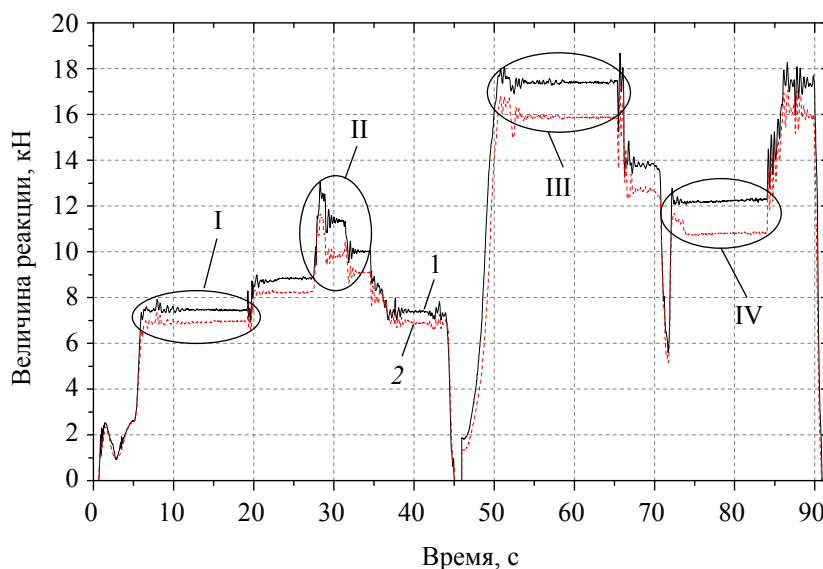


Рис. 5. Перераспределение реакций между колесами базового трактора в транспортном и рабочем положении технологического оборудования:

- 1 – правый борт; 2 – левый борт;
- I – величины реакций под колесами передней оси;
- II – величины реакций под колесами передней оси с опущенным сзади технологическим оборудованием;
- III – реакции под колесами задней оси;
- IV – величины реакций под колесами задней оси с опущенным сзади технологическим оборудованием



а



б

Рис. 6. Очистка лесосеки с различными вариантами установки технологического оборудования:

- а – технологическое оборудование на задней навеске базового трактора;
- б – технологическое оборудование на переднем бруске базового трактора

При формировании вала лесосечных отходов на опытном участке, согласно рис. 7, пиковые нагрузки возникали на протяжении всей операции технологического цикла с максимальной нагрузкой в 0,77 кН, осуществлявшейся при предварительном натяжении пружины в 0,1 кН. Диапазон предварительного натяжения пружины составил 0,1–0,3 кН, с шагом 0,1 кН.

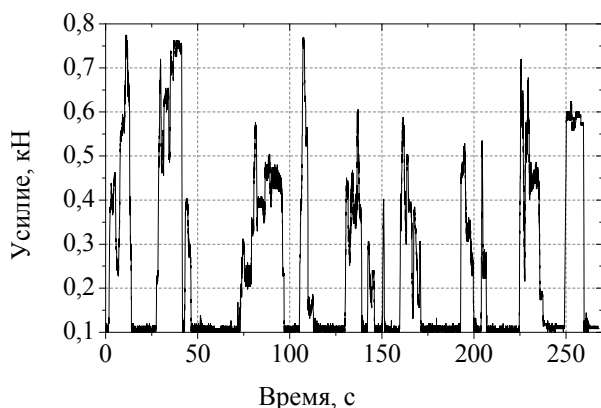


Рис. 7. Усилия, возникающие в пружине при формировании вала на опытном участке с предварительным натяжением пружины в 0,1 кН

Процесс преодоления единичной неровности в виде пня представлен на рис. 8. При этом варьируемыми параметрами являлись диаметр и высота неровности, диапазон изменения которых приведен в табл. 2.



Рис. 8. Преодоление единичной неровности

Таблица 2

Варьируемые параметры при преодолении единичной неровности

Варьируемый параметр	Диапазон
Диаметр неровности (пня), м	0,1–0,4
Высота неровности (пня), м	0,05–0,2

Из графика на рис. 9 видно, что при высоте пня 0,2 м и диаметре 0,15 м с предварительным натяжением 0,2 кН величина возникающих усилий в пружине при преодолении единичной неровности в виде пня достигает до 0,93 кН.

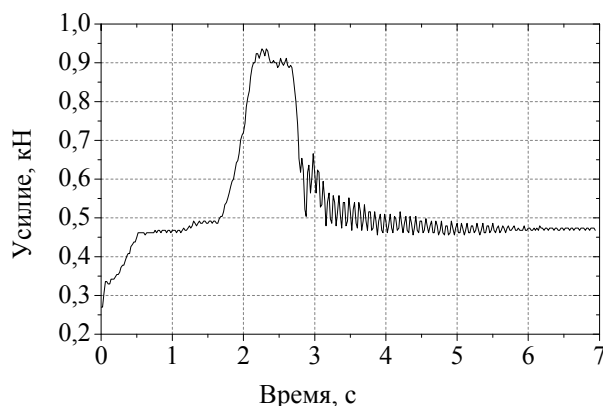


Рис. 9. Усилие, возникающее в пружине при преодолении препятствия в виде пня

Преодоление препятствия рабочим элементом зависит от подъемной силы, величина которой в свою очередь зависит от угла установки технологического оборудования относительно вертикальной оси (угла атаки) и опорной поверхности. Опорная поверхность в процессе работы всегда изменяется в зависи-

мости от рельефа местности. Угол атаки конструктивно регулируется специальными стяжками в процессе установки технологического оборудования на базовый трактор и в процессе эксплуатации не изменяется. При выполнении технологических операций на нижний направляющий ролик зуба действует подъемная сила, создающая изгибающий момент на пальце ролика, что в процессе эксплуатации приводит к изгибанию пальца ролика и подклиниванию зуба.

Заключение. Экспериментальные исследования опытного образца машины для сбора лесосечных отходов позволили установить величины перераспределения реакций под колесами базового трактора при различных вариантах агрегатирования технологического оборудования. Для последующей оценки разработанной математической модели определе-

ны усилия, возникающие в пружине технологического оборудования при очистке лесосек, преодолении единичной неровности в зависимости от высоты и диаметра пня, а также в зависимости от углов установки технологического оборудования. При этом, учитывая различные варианты навески оборудования, произведен анализ эффективности работы машины для сбора лесосечных отходов. Исследования показали, что использование данного оборудования на передней навеске обеспечивает увеличение производительности работ на 10–15%, за счет снижения утомляемости оператора и повышения удобства управления технологическим оборудованием. На основании проведенных предварительных испытаний опытных образцов машин для сбора лесосечных отходов даны рекомендации по корректировке конструкторской документации.

Литература

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
3. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.
4. Тракторы промышленные. Методы испытаний: ГОСТ 23734-98. Введ. 07.01.2000. М.: Изд-во стандартов, 2000. 19 с.
5. Машины землеройные. Методы измерений масс машин в целом, рабочего оборудования и составных частей: ГОСТ ISO 6016-2014. Введ. 01.01.2016. М.: Госстандарт: БелГИСС, 2015. 9 с.
6. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / Мохов С. П. [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 178–181.
7. Испытания погрузочно-транспортной машины 4К4 повышенной грузоподъемности / Мохов С. П. [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 63–66.
8. Пищов С. Н. Результаты экспериментальных исследований устойчивости автомобиля МАЗ повышенной проходимости // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 47–48.
9. Результаты испытаний харвестера МЛХ-414 для рубок промежуточного пользования / Арико С. Е. [и др.] // Механика технологических процессов в лесном комплексе: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 25–27 марта 2014 г. Воронеж, 2014. С. 179–183.
10. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 225 с.
11. Оценка тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины в реальных условиях эксплуатации / Коробкин В. А. [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 36–39.
12. Машины землеройные. Методы определения размеров машин с рабочим оборудованием: ГОСТ 27256-87. Введ. 01.01.1988. М.: Изд-во стандартов, 1987. 9 с.
13. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы оценки приспособленности к техническому обслуживанию: ГОСТ 26026-83. Введ. 01.01.1984. М.: Изд-во стандартов, 1984. 12 с.
14. Машины сельскохозяйственные. Погрузчики. Методы испытаний: ГОСТ 28286-89. Введ. 30.06.1990. М.: Изд-во стандартов, 1990. 14 с.
15. Симанович В. А., Кононович Д. А., Исаченков В. С. Влияние динамической нагруженности на эксплуатационные показатели колесных лесных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 54–57.

References

1. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BG TU Publ., 2001. 640 p.

2. Nikishov V. D. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Comprehensive use of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 264 p.
3. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p.
4. GOST 23734-98. Industrial tractors and bulldozers. Test methods. Moscow, Standartinform Publ., 2000, 19 p. (In Russian).
5. GOST ISO 6016-2014. Earth-moving machinery. Methods of measuring the masses of whole machines, their equipment and components. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 9 p. (In Russian).
6. Mokhov S. P., Korobkin V. A., Golyakevich S. A., Kononovich D. A. Perspective complex machines for collection and transportation logging waste. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging industry: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 178–181 (In Russian).
7. Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Simanovich V. A., Asmolovskiy M. K., Kononovich D. A. Testing of forwarder 4WD with increased load capacity. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 63–66 (In Russian).
8. Pishchov S. N., Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Man'ko A. V. The results of experimental studies of the stability of the MAZ of high cross-country capability. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 47–48 (In Russian).
9. Ariko S. Ye., Simanovich V. A., Mokhov S. P., Pishchov S. N. Test results harvesters MLH-414 intermediate felling. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii ("Mekhanika tekhnologicheskikh protsessov v lesnom komplekse")* [Materials of the International Scientific and Technical Conference ("Mechanics of technological processes in a forestry")], Voronezh, 2014, pp. 179–183 (In Russian).
10. Ariko S. Ye. *Obosnovanie parametrov valochno-suchkorezno-raskryzhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya: Dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation of felling-delimiting-bucking machine characteristics for intermediate forest exploitation cutting. Cand. Diss.]. Minsk, 2012. 225 p.
11. Korobkin V. A., Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Golyakevich S. A. Assessing the traction characteristics of loading and transport machines in real conditions of exploitation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 36–39 (In Russian).
12. GOST 27256-87. Earth-moving machinery. Methods of measuring the dimensions of whole machines with their equipment. Moscow, Standartinform Publ., 1987. 9 p. (In Russian).
13. GOST 26026-83. Agricultural and forestry machines and tractors. Evaluation methods of fitness to technical servicing. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 10 p. (In Russian).
14. GOST 28286-89. Agricultural machinery. Loaders. Methods of testing. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 14 p.
15. Simanovich V. A., Kononovich D. A., Isachenkov V. S. Influence on dynamic loading performance wheel forestry machinery. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 54–57 (In Russian).

Информация об авторах

Коробкин Владимир Андреевич – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального конструктора, главный конструктор по спецтехнике. ОАО «Минский тракторный завод» (220070, г. Минск, ул. Долгобродская, 29, Республика Беларусь). E-mail: okbmtz@tut.by

Мохов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

Кононович Денис Александрович – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: denkon_92@mail.ru

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, 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

Information about the authors

Korobkin Vladimir Andreevich – DSc (Engineering), Professor, Deputy General Designer, Chief Designer for special equipment. OJSC “Minsk Tractor Works” (29, Dolgobrogsкая str., 220070, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: okbmtz@tut.by

Mokhov Sergey Petrovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Head 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: lmitlz@belstu.by

Kononovich Denis Aleksandrovich – PhD student, 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: denkon_92@mail.ru

Ariko Sergey Yevgen'yevich – PhD (Engineering), 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

Поступила 28.02.2018

УДК 630*383:625.7/.8

П. А. Лыщик, А. И. Науменко

Белорусский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

В настоящее время в дорожном строительстве широкое распространение получили геосинтетические материалы – геотекстилы, геосетки, плоские и объемные георешетки, а также их различные комбинации – геокомпозиты. Данные материалы, или геосинтетики, используются для армирования конструктивных слоев дорожных одежд, усиления и армирования грунтов земляного полотна и оснований дорожных одежд, при устройстве подпорных стенок, для предотвращения оползней и реконструкций склонов, при укреплении откосов и проведении противоэрозионных мероприятий, а также для обеспечения дренажа [1–8].

Отечественная и зарубежная практика имеет более чем 30-летний опыт применения материалов, разработке и созданию которых способствовало бурное развитие химической промышленности. Основными потребителями геосинтетических материалов стали дорожная и железнодорожная отрасли, гражданское и гидротехническое строительство, строительство аэродромов. В последнее время созданы новые материалы и технологии на их основе для экологической защиты территории [9]. К геотекстилям относятся тканые, нетканые, вязаные, плетеные синтетические материалы с размером ячеек менее 5 мм.

В статье рассматриваются способы определения основных характеристик геосинтетических материалов, применяемых в практике дорожного строительства.

Ключевые слова: геосинтетический материал, физико-механические свойства, испытания, сжимаемость, разрыв, строительство, дорожная одежда.

P. A. Lyshchik, A. I. Naumenko

Belarusian State Technological University

**DEFINITION OF THE BASIC PHYSICAL
AND MECHANICAL PROPERTIES OF GEOSYNTHETIC MATERIALS**

Now in road building a wide circulation geosynthetic materials – geotextiles have received, geogrids, flat and volume geolattices, and also their various combinations – geocomposites. The given materials, or geosynthetics, are used for reinforcing of soils of an earthen cloth and the bases of road clothes, at the device of retaining walls, for prevention of landslips and reconstruction of slopes, at strengthening of slopes and carrying out of antierosion actions, and also for drainage maintenance [1–8].

Domestic and foreign practice has more than 30 years old experience of application of materials, working out and which creation were promoted by rapid development of the chemical industry. The basic consumers of geosynthetic materials of a steel road and railway branches, civil and hydraulic engineering building, building of airdromes. Recently new materials and technologies on their basis for ecological protection of territory are created [9]. Woven, nonwoven, knitted, wattled synthetic materials concern geosynthetics with the size of cells less than 5 mm.

In article ways of definition of the basic characteristics of the geosynthetic materials applied in practice of road building are considered.

Key words: geosynthetic material, physical and mechanical properties, tests, compressibility, rupture, building, road clothes.

Введение. В настоящее время для дорожного строительства выпускается большое количество различных геосинтетических материалов. Первым их представителем был бидим пяти типов И-14, И-24, И-34, И-44, И-64 и предназначался для разделения слоев дорожных одежд и грунтов земляного полотна. В мировой дорожной практике применяются геосинтетические материалы, такие как: терраам, выпускается фирмой Аи-Си-Аи (Англия); Фибертех, выпускается в Дании марок С-170, С-300, С-400; полифелт

производится в Австрии, мирафи М-1192, М-1195, М-1196, М-1197; тревира Т-150, Т-200, Т-300, Т-350, Т-500 выпускается немецкой фирмой «Хохст»; дорнит Ф-1, Ф-2 изготавливается в Республике Беларусь, Рогачевским комбинатом строительных материалов; Светлогорским предприятием «Химволокно» для дорожного строительства выпускается два типа геосинтетического материала «спанбел» и «аквастан» с поверхностной плотностью от 30 до 150 г/м²; ОАО «Пинема» – 190–600 г/м².

Таблица 1

Свойства первоначальных материалов для производства геосинтетики

Физико-механические показатели	Материал			
	Полиамид (РА)	Полиэтилен (РЕ)	Полипропилен (РР)	Полиэстер (РЕS)
Плотность, т/м ³	1,13–1,14	0,95–0,97	0,9–1,05	1,36–1,38
Температура плавления, °С	215	102–137	145–154	256
Водопоглощение, %:				
при 20°С	3,5–4,5	–	–	0,2–0,5
при 24°С	6,0–9,0	–	–	0,8–1,0
Прочность на разрыв, Н/мм ²	56–65	32–65	22–55	35–90
Модель упругости, МПа	–	1000–1250	1220–1670	–
Относительное удлинение, %	70–110	100–1200	200–700	–
Устойчивость против:				
кислоты разбавленной	Хорошая	Очень хорошая	Хорошая	Очень хорошая
щелочи	Хорошая	Хорошая	Очень хорошая	Хорошая
микроорганизмов	Хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая
света	Хорошая	Очень хорошая	Плохая	Хорошая

Основная часть. Свойства геосинтетических материалов, используемых в дорожном строительстве, зависят от целого ряда факторов: материала по изготовлению, способа производства и т. д. Известно, что синтетические материалы изготавливаются в основном из полиэтилена, полипропилена, полиамида, основные физико-механические свойства которых изменяются в течение времени (табл. 1).

Так как синтетические материалы, применяемые при строительстве дорог, находятся в сложных специфических условиях, то к ним должны предъявляться соответствующие повышенные требования. Они должны испытываться на влияние биологических факторов (микроорганизмов), различного рода нагрузок, возникающих при строительстве и эксплуатации дорог [10].

Методы исследований. Поверхностная плотность. Синтетические рулонные материалы выпускаются как правило различной толщины и ширины. Методика (SNV 198431, JSO DIS 3001.2) рекомендует в качестве одного из важнейших показателей, характеризующего синтетический материал, массу единицы площади (г/м²). Для испытаний берется 10 проб площадью 100 см². Определяют средние значения массы и коэффициенты вариации [11].

Способность сжиматься. Толщина материала определяется с учетом давления. Давление оказывает существенное влияние на свойства синтетических материалов. Методика рекомендует проводить исследования при следующих условиях: EDNA-30 074, 10 проб, 25 см² при 5·10² и 2·10² Па. Для дорожных условий можно успешно применять средние значения расчетных величин при давлении 200 Па.

Усилие на разрыв. Величина усилия при разрыве определяется при DIN 53857, SNV 198461,

JSO DIS 5081. Для испытаний берется 10 проб длиной 20 см и шириной 5 см (рис. 1).

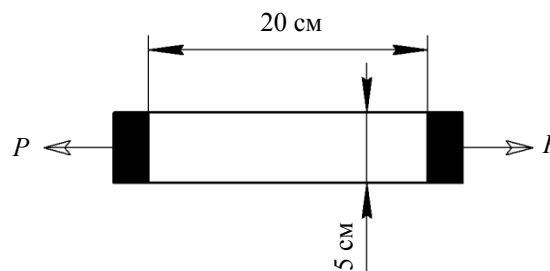


Рис. 1. Размеры и форма образца при испытаниях по методу DIN 53857

Скорость растяжения составляет 10 см/мин. Для получения более достоверных результатов берут образец 10×20 см, при этом образец прокалывается специальными штырями, которые закреплены на планке (10×1×0,5 см). Диаметр штыря 1 мм. Штыри расположены от края на расстоянии 0,5; 1,5; 3,0; 5,0; 7,0; 8,5; 9,5 см (рис. 2). По результатам испытаний строится зависимость деформации от растягивающего усилия.

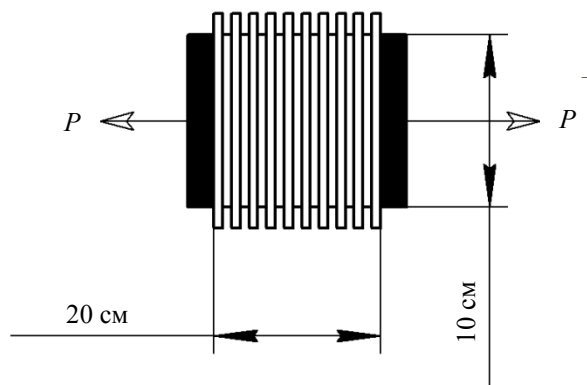


Рис. 2. Размеры образца и закрепительная планка

Испытания материала в цилиндре СБР.

Данная методика разработана норвежскими учеными. Суть ее заключается в следующем. Для проведения эксперимента отбирается 10 проб материала размером 200×200 мм (рис. 3).

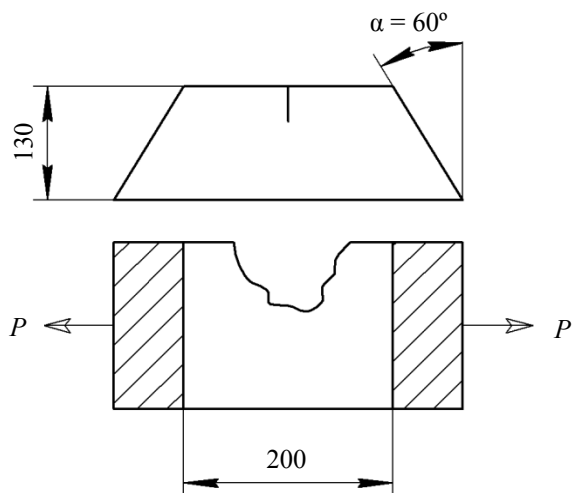


Рис. 3. Форма и образец материала

Цилиндр СБР является разъемным, т. е. состоящим из верхней и нижней частей. Внутренний диаметр цилиндра равен 150 мм. Испытываемый материал помещается между двумя кольцами цилиндра и закрепляется путем сжатия колец. Нагружение материала производится при помощи поршня, диаметр которого равен 50 мм (рис. 4). Скорость нагружения 50 мм/мин. При испытаниях материала в цилиндре СБР представляется возможным получить зависимость деформации от нагрузки.

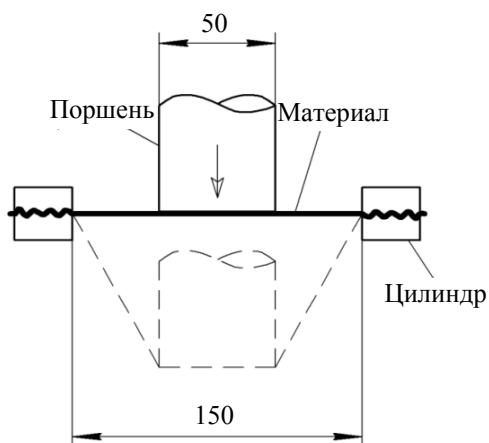


Рис. 4. Схема испытания материала в цилиндре СБР

Пробивание материала при помощи падающего конуса. Этот вид испытаний связан с технологией строительства автомобильных дорог. При закрытии материала слоем грунта, в котором могут быть каменные включения, синтетические прослойки испытывают пробивающие на-

грузки. Для испытаний применяется металлический конус массой 1 кг, угол заточки 45°, радиус вершины 0,5 мм, высота падения 0,5 м (рис. 5).

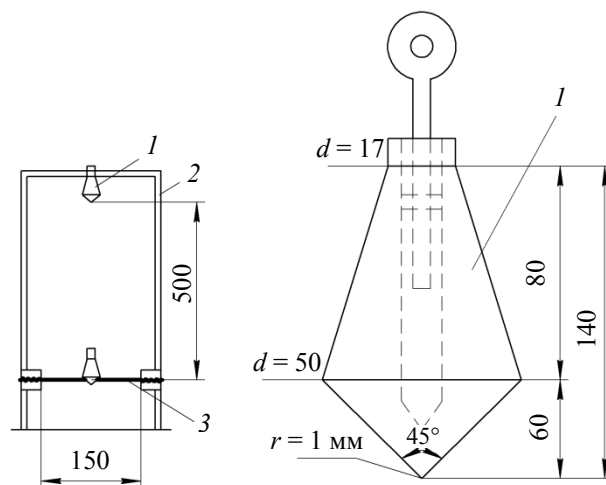


Рис. 5. Схема прибора для испытаний материала падающим конусом:

1 – конус; 2 – станина прибора; 3 – материал

Биологические испытания. В земле, где располагаются синтетические материалы, имеются хорошие жизненные условия для различного рода микроорганизмов. Поэтому необходимо заранее знать влияние организмов на синтетические материалы. С этой целью проводят соответствующие эксперименты. Метод JSO DIS 846.2 (1977) объединяет две методики: ASTM G 21-70 (1975) (грибы) и ASTM G 22-67T (бактерии) [11].

Испытания, как правило, проводятся в лабораторных условиях. Материал помещается в среду с бактериями. Опыт длится 16 недель, к тому же каждые 4 недели приток бактерий возобновляется. Затем для 10 проб определяют разрывное усилие образца шириной 5 см и длиной 20 см. По данным измерений устанавливают степень влияния бактерий и микроорганизмов на синтетические материалы.

Влияние света и продолжительность нахождения на воздухе. Материал обычно хранится на открытом воздухе продолжительное время. При строительстве дорог период нахождения материала на открытом воздухе бывает от нескольких дней до нескольких недель (конец рабочей недели, праздники, плохая погода, строительный сезон и т. д.). При этом должно быть установлено определенное время хранения синтетических материалов. Немецкие нормы EN 12424 (DIN 18553, JSO V 1969, P.2) рекомендуют следующее: производится отбор образцов из материала (из семи рулонов отбирается три). Пробу помещают в кварцевый стеклянный цилиндр на 20 ч и выдерживают при температуре 67°C. В качестве критерия пригодности используется разрывное усилие.

Таблица 2

Результаты испытаний геосинтетических материалов

Материал и его марка	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм	Усилие на разрыв, Н		Испытание на растяжение конусом, Н	Диаметр отверстия при пенетрации, мм	Воздухопроницаемая способность, м ³ /м ²
			поперек волокон	вдоль волокон			
Бидим:							
И-34	271	1,60	763	1000	1094	12,2	1,47
И-44	344	2,20	1330	1476	1255	11,3	1,33
И-64	566	2,80	1517	1620	1822	7,7	0,75
Тревира:							
Т-150	155	1,00	413	507	446	21,5	1,32
Т-300	305	1,30	1167	893	1010	14,7	1,56
Тайпар:							
SF-40	136	0,45	720	719	648	29,6	2,80
SF-65	220	0,59	1149	1228	881	26,2	1,60
Дорнит Ф-2	668	2,50	3206	2767	1346	4,4	1,55
Фибертекс:							
S-170	179	0,87	498	503	477	32,6	1,41
S-300	288	0,96	880	1127	859	18,6	0,44
Пинема:							
ТС-360	360	4,10	335	340	735	21,2	1,70
ТС-500	500	5,50	500	505	830	19,1	0,78

В табл. 2 приведены результаты испытаний геосинтетических материалов различных производителей, которые учитываются при использовании их в дорожных конструкциях.

Химические испытания. При проведении химических испытаний невозможно охватить и установить влияние всех химических реагентов на свойства синтетических материалов. Необходимо только установить взаимодействие материала со средой. Особо опасным реагентом считается кислота. Кислотность грунтов земляного полотна колеблется в пределах от 3 до 11. Методика испытаний AFNOR T 51-029 (1974) рекомендует обработку материала производить при помощи 0,1%-й молочной кислоты (рН 2,4) и 0,1%-го карбоната натрия (рН 11,6) в течение 15 дней при температуре 50°C. SNV (198890). В качестве критерия пригодности синтетического материала для дорожного строительства используется обычно усилии на разрыв и величина деформации [11].

Ползучесть. Под ползучестью материала следует понимать его относительное удлинение при постоянной нагрузке в течение времени. Этот показатель весьма важен для материалов, которые применяются для армирования дорожных конструкций. При испытаниях берут две пробы материала и загружают его как по длине, так и по ширине. Сила загрузки составляет 30 и 60% от разрывающего усилия.

Продолжительность опыта 60 дней. Величина относительного удлинения определяется через 1 ч, 1 день и 60 дней.

Водные испытания. При устройстве гидроизолирующих прослоек весьма важным показателем является коэффициент фильтрации, который определяется как вдоль волокон материала, так и поперек. При применении синтетических материалов в качестве фильтров необходимо знать их защитные свойства, т. е. влияние материала на вынос частиц.

Водопроницаемость материала определяется традиционными методами. Между двумя разъемными цилиндрами (рис. 6) помещается синтетический материал размером 100×100 мм. При помощи поршневых шайб создается постоянное давление на материал. Величина груза, давящего на материал, равна 10 кг. Водопроницаемая способность определяется в литрах на метр квадратный за секунду.

Трение между материалом и грунтом. Для определения величины трения между материалом и грунтом применяется специальный прибор. В данном приборе используются образцы синтетического материала площадью 0,10 м². Величина силы прижатия равна 50–500 кН/м² [12–14].

Определение размеров пор. Величину размеров пор материалов определяют при помощи вибрирования на ткани песка или одномерного стеклянного бисера (рис. 7).

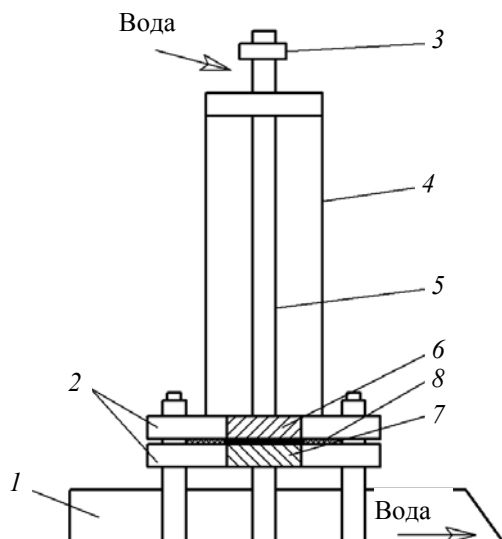


Рис. 6. Схема определения водопроницаемости материала:
 1 – емкость; 2 – верхняя и нижняя шайбы;
 3 – груз; 4 – цилиндр; 5 – стержень;
 6 – верхний фильтр; 7 – нижний фильтр;
 8 – материал

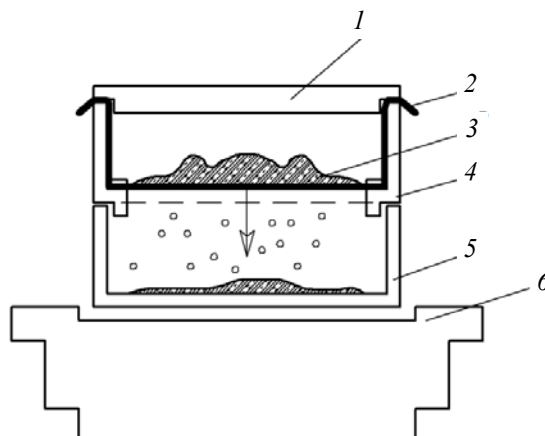


Рис. 7. Схема прибора для определения размеров пор:
 1 – крышка; 2 – бисер;
 3 – материал; 4 – сито;
 5 – поддон; 6 – вибростол

Заключение. Приведенные выше методы не исчерпывают всевозможные методы и способы испытаний геосинтетических материалов с целью получения достоверных характеристик. Они в большей части применяются фирмами-изготовителями. Однако, практика показывает, что действительное поведение геосинтетических материалов в реальных условиях требует разработок новых методов испытаний с учетом областей их применения [15].

Как отмечают многие практики, потребление геосинтетики могло бы быть в несколько раз больше, если бы были разработаны нормативы на определение ее свойств, классификацию и терминологию.

Также произошла дифференциация области применения геосинтетических сплошных рулонных материалов, геосеток, георешеток и

других типов на их основе. Расширилась номенклатура материалов, созданы совершенно новые композиции, позволяющие целенаправленно изменять конструктивные элементы дорожных сооружений, обеспечивая при этом не только их требуемую надежность, но и упрощая технологию строительства.

Применение геосинтетики при проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте и эксплуатации автомобильных дорог, а также других транспортных коммуникаций позволяет компенсировать недостатки свойств грунтов и дорожно-строительных материалов, повысить их физико-механические свойства, а в некоторых случаях – превратить в совершенно новые типы материалов. При этом следует отметить возможность внедрения геосинтетики в виде специальных волокон при приготовлении строительных смесей [9].

Литература

1. Использование геотекстильных материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог и мостов. М.: Инфоравтодор, 1999. 72 с.
2. Матвеев С. А. Геосинтетика в дорожных конструкциях // Автомоб. дороги. 2004. № 8. С. 42–44.
3. Матвеев С. А. Геосинтетические материалы в строительстве // Югра: дороги в будущее. 2005. № 2. С. 24–25.
4. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции по применению синтетических текстильных материалов при строительстве земляного полотна автомобильных дорог: сб. науч. тр. М.: Союздорнии, 1980. 140 с.
5. Матросов А. П., Матросов И. А., Матросов А. А. Синтетические материалы, используемые при строительстве и ремонте автомобильных дорог // Автомоб. дороги. М., 1994. Вып. 2. 57 с.
6. Синтетические текстильные материалы в конструкциях автомобильных дорог: сб. науч. тр. М.: Союздорнии. 1983. 138 с.

7. Синтетические текстильные материалы в транспортном строительстве / под ред. В. Д. Казарновского. М.: Транспорт, 1984. 160 с.
8. Geosynthetics: Applications, Design and Construction. EuroGeo 1 De Groot, Den Hoedt & Termaat (eds). 1996. Balkema, Rotterdam. 1066 p.
9. Матвеев С. А., Немировский Ю. В. Армированные дорожные конструкции: моделирование и расчет. Новосибирск: Наука, 2006. 348 с.
10. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. М.: Союздорнии, 2003. 122 с.
11. Геосинтетические материалы. Термины и определения: ISO 10318:2005. М.: Стандартиформ, 2008.
12. Лышик П. А., Макаревич С. С., Красковский С. В. Сопротивление сдвигу грунта, армированного объемными георешетками // Вестник БНТУ. 2007. № 4. С. 5–8.
13. Лышик П. А., Макаревич С. С., Красковский С. В. Исследование напряженного состояния в грунтовой дороге под воздействием колес лесовозного автопоезда // Труды БГТУ. Сер. II: Лесная и деревообраб. пром-сть. 2006. Вып. XIV. С. 56–58.
14. Немировский Ю. В., Матвеев С. А. Построение расчетной модели грунта, армированного объемной георешеткой // Изв. вузов. Строительство. 2002. № 9. С. 95–101.
15. Применение геосинтетических и геопластиковых материалов при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог // Труды Союздорнии. 2001. Вып. 201. 162 с.

References

1. *Ispol'zovanie geotekstil'nykh materialov pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nykh dorog i mostov* [Use of geotextile materials at building and repair of highways and bridges]. Moscow, Informavtodor Publ., 1999. 72 p.
2. Matveev S. A. Geosynthetic in road design. *Avtomobil'nye dorogi* [Auto roads], 2004, no. 8, pp. 42–44 (In Russian).
3. Matveev, S. A. Geosynthetic materials in building. *YUgra: dorogi v budushchee* [Ygra: roads to the future], 2005, no. 2, pp. 24–25 (In Russian).
4. *Materialy Vsesoyuznoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po primeneniyu sinteticheskikh tekstil'nykh materialov pri stroitel'stve zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Materials All-Union scientific and technical conferences on application of synthetic textile materials at building of an earthen cloth of highways]. Moscow, 1980. 140 p.
5. Matrosov A. P., Matrosov I. A., Matrosov A. A. The synthetic materials used at building and repair of highways. *Avtomobil'nye dorogi* [Auto roads]. Moscow, 1994, issue 2, 57 p. (In Russian).
6. *Sinteticheskie tekstil'nye materialy v konstruktsiyakh avtomobil'nykh dorog* [Synthetic textile materials in design of highways]. Moscow, Soyuzdornii Publ., 1983. 138 p.
7. *Sinteticheskie tekstil'nye materialy v transportnom stroitel'stve* [Synthetic textile materials in transport building]. Ed. by V. D. Kazarnovskiy. Moscow, Transport Publ., 1984. 160 p.
8. Geosynthetics: Applications, Design and Construction. EuroGeo 1 De Groot, Den Hoedt & Termaat (eds). 1996. Balkema, Rotterdam. 1066 p.
9. Matveev S. A. *Armirovannyye dorozhnye konstruktsii: modelirovanie i raschet* [The reinforced road design: modeling and calculation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2006. 348 p.
10. *Rekomendatsii po primeneniyu geosinteticheskikh materialov pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nykh dorog* [Recommendation about application of geosynthetic materials at building and repair of highways]. Moscow, Soyuzdornii Publ., 2003. 122 p.
11. ISO 10318:2005. Geosynthetic materials. Terms and definitions. Moscow, Standartinform Publ., 2008.
12. Lyshchik P. A., Makarevich S. S., Kraskovskiy S. V. Resistance to shift of the ground reinforced by volume geolattices. *Vestnik BNTU* [Proceedings of BNTU], 2007, no. 4, pp. 5–8 (In Russian).
13. Lyshchik P. A., Makarevich S. S., Kraskovskiy S. V. Research of an intence condition in soil road under the influence of wheels forestry lorry convoys. *Trudy BGTU* [Proseeding of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2006, issue XIV, pp. 56–58 (In Russian).
14. Nemirovskiy Yu. V., Matveev S. A. Construction of settlement model of the soil reinforced by a volume geolattice. *Izvestiya vuzov* [Proceedings of high schools], 2002, no. 9, pp. 95–101 (In Russian).
15. Application of geosynthetic and geoplastic materials at building, reconstruction and repair of highways. *Trudy Soyuzdornii* [Works of Soyzdornii], 2001, issue. 201, 162 p. (In Russian).

Информация об авторах

Лыщик Петр Алексеевич – 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: tl@belstu.by

Науменко Андрей Иванович – кандидат технических наук, ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

Information about the authors

Lyshchik Petr Alekseevich – 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: tl@belstu.by

Naumenko Andrey Ivanovich – PhD (Engineering), assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 05.03.2018

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 694.7

А. А. Барташевич, Л. В. Игнатович, С. В. Шетько, С. С. Гайдук
Белорусский государственный технологический университет

ДЕКОРИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ И СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ТИСНЕНИЯ ТЕКСТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ И ИМИТАЦИЕЙ РЕЗЬБЫ

Снижение доли использования ценных пород древесины является одной из актуальных задач деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь. Сравнительно невысокие физико-механические и декоративные свойства мягколиственных пород не позволяют использовать их в качестве полноценной замены ценных твердолиственных пород древесины. Из малоценных пород древесины могут изготавливаться декоративные элементы, которые наиболее часто используются с целью индивидуализации внешнего вида мебели и столярно-строительных изделий. Декорирование элементов может достигаться за счет применения трехмерного и двухмерного прессования, тиснения, тонирования, точения, различных видов резьбы, фрезерования, мозаики, имитации ценных пород древесины. Наиболее широко применяемыми способами декорирования являются тиснение и прессование, которые позволяют получить на поверхности древесины рисунок с глубиной профиля до 3 мм и более 3 мм соответственно. Тиснение и прессование древесины и древесных материалов с целью облагораживания осуществляют, как правило, горячее, но не исключено и холодное с применением специальной матрицы (шаблона-клише). Пластификация древесины происходит за счет перехода лигнина из стеклообразного в высокоэластичное состояние под воздействием высокой температуры, что в конечном итоге позволяет увеличить формоустойчивость и термостабильность материала. Исследования микроструктуры древесины после уплотнения показали, что происходит уменьшение межклеточного пространства и пористости, смачиваемость клеевым материалом не изменяется и происходит уменьшение толщины клеевой прослойки. Для придания элементам мебели и столярно-строительных изделий из мягколиственных пород древесины высоких декоративно-художественных свойств методом тиснения и глубокого прессования наиболее эффективным является способ горячего тиснения на оборудовании проходного типа.

Ключевые слова: декорирование, мебель, столярно-строительные изделия, имитация, текстура, прессование, тиснение

A. A. Bartashevich, L. V. Ignatovich, S. V. Shet'ko, S. S. Haiduk
Belarusian State Technological University

DECORATION ELEMENTS OF FURNITURE AND WOOD-CONSTRUCTION PRODUCTS BY STAMPING WOOD TEXTURE AND IMITATION THREAD

Decrease in the share of the use of valuable wood species is one of the topical tasks of the wood-working industry of the Republic of Belarus. Comparatively low physical, mechanical and decorative properties of soft-leaved species do not allow using them as a full-fledged replacement of valuable hardwood species of wood. Of low value woods, decorative elements can be made, which are most often used for the purpose of individualizing the appearance of furniture and joinery products. Decoration of elements can be achieved through the use of three-dimensional and two-dimensional pressing, embossing, toning, turning, various types of threads, milling, mosaic, imitation of valuable wood species. The most widely used decoration methods are embossing and pressing, which allow to obtain on the surface of wood a pattern with a profile depth of up to 3 mm and more than 3 mm, respectively. Stamping and pressing of wood and wood materials for the purpose of upgrading is usually hot, but it is possible and cold with the use of a special matrix (template). Plastification of wood occurs due to the transition of lignin from vitreous to highly elastic state under the influence of high temperature, which ultimately allows to increase the form stability and thermal stability of the material. Studies of the micro-

structure of wood after compaction showed that the intercellular space and porosity decrease, the permeability of adhesive materials does not change and the thickness of the adhesive layer decreases. To make the elements of furniture and carpentry-building products from soft-leaved species of wood of high decorative and artistic properties embossed and deeply pressed, the most effective method is hot stamping on pass-through equipment.

Key words: decorating, furniture, carpentry, imitation, texture, pressing, stamping.

Введение. В настоящее время основной задачей лесной и деревоперерабатывающей промышленности является рациональное использование лесосырьевых ресурсов и производство экологически безопасной и конкурентоспособной продукции. Разработка эффективных экономически целесообразных изделий из древесины обусловлена необходимостью ресурсо- и энергосбережения, импортозамещения в деревообработке. Проблема может быть решена за счет разработки специальной технологии использования более дешевых мягколиственных пород древесины, вместо ценных и твердых лиственных.

В Беларуси ценные твердолиственные породы составляют примерно 4% от основных лесобразующих пород, в то же время, доля малоценных пород составляет примерно 30%, в том числе: береза – 17%, ольха – 8%, тополь и осина – 5%. В Республике Беларусь, при общей заготовке древесины около 19 млн. м³ в год, для производства изделий мебели и столярно-строительных изделий ее не хватает, особенно ценных твердолиственных пород. Сказанное предопределяет целесообразность снижения доли использования древесины твердолиственных пород в производстве декоративных элементов столярно-строительных изделий и мебели за счет замещения их мягколиственными породами, использование которых не нашло широкого применения в связи со сравнительно низкими физико-механическими и эксплуатационными показателями. В прошлом предпринимались различные попытки заменить твердолиственные породы в изготовлении декоративных элементов мебели и столярно-строительных изделий.

Для изделий из древесины интересный и привлекательный дизайн имеет определяющее значение. Среди приемов декорирования используют различные технологии, в том числе основанные на тиснении и прессовании древесины и древесных материалов с внедрением в материал пуансона, штампов и пресс-форм [1–3, 11, 13, 15].

Основная часть. Классическим способом индивидуализации мебели и столярно-строительных изделий является декорирование фасадных элементов – трехмерное и двухмерное прессование, тиснение, тонирование, точение, различные виды резьбы и фрезерования, мозаика, имитация текстуры ценных пород и др. [5]. В классическом исполнении эти декоративные приемы весьма

трудоемки, даже при применении фрезерных станков с числовым программным управлением. Современные технологии позволяют имитировать текстуру любой породы древесины с большей или меньшей степенью подобия при помощи: тиснения (методом плоского прессования и прокатом); прямой цифровой печати; нанесения текстуры методом печатания.

Под тиснением понимается формирование на поверхности деталей и элементов относительно неглубокого, до 3 мм, профиля; под прессованием понимается формирование элементов глубиной более 3 мм при большом давлении. Тиснение и прессование древесины с целью ее облагораживания осуществляют в большинстве случаев горячее, но не исключено и холодное.

Имитировать резьбу можно методом горячего прессования древесины, а имитировать текстуру древесины – методом горячего тиснения поверхности. Тиснение – метод, при котором матрица (шаблон-клише) с нанесенным рельефным рисунком устанавливается между плитами пресса, нагревается до температуры 150–200°C. Под воздействием нагретой металлической матрицы (шаблон-клише) на древесине отпечатывается текстура. При усилии пресса, например, 1000–1500 кН остается на поверхности, помещенной в пресс заготовки из древесины, рельефный рисунок. При более высоком давлении (выше 1000–1500 кН), превышающем предел прочности древесины на сжатие поперек волокон, формируются элементы, имитирующие резьбу.

Матрицы изготавливаются из алюминия, стали или бронзы. Алюминиевые пресс-формы из-за их низкой твердости обычно используются для тиснения простых рельефов, стальные – применяются для более глубокого тиснения. Стальные формы могут быть получены только методом фрезерования металла с последующим гравированием. Наилучшие результаты дают пресс-формы, изготовленные из бериллиевой бронзы. Твердость этого материала составляет 80–90 единиц по Роквеллу и может быть увеличена за счет термообработки. Пресс-формы из бериллиевой бронзы можно получать литьем с последующим гравированием мелких деталей рельефа [16].

На рис. 1, 2 показаны пример и схема имитации текстуры древесины – методом горячего тиснения поверхности при помощи матрицы (шаблон-клише) [12].



Рис. 1. Фрагмент декоративного элемента с заданным рисунком текстуры древесины

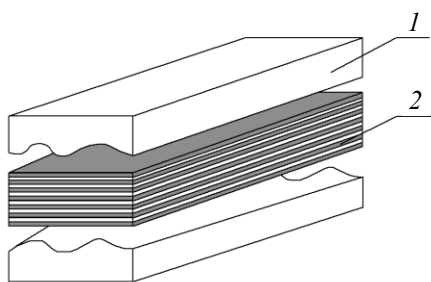


Рис. 2. Схема тиснения в матрице (шаблон-клише):
1 – шаблон-клише; 2 – заготовка

При высоких температурах нагрева матрицы прессуемой заготовки возможно изменение цвета ее поверхности. Однако потери прочности материала (обугливания) при этом еще не происходит [19].

Известно, что древесина является упруго-пластическим материалом, она может хорошо деформироваться без разрушения волокон, особенно при влажности, близкой к насыщению волокон (30%), и при температуре, близкой к 100°C, а при снятии давления восстанавливать структуру [4, 8, 14]. Пластификация древесины происходит за счет перехода лигнина из стеклообразного в высокоэластичное состояние под воздействием высокой температуры. Лигнин – наиболее термостабильный высокомолекулярный компонент древесины. Это обусловлено его ароматической природой, а также протекающими при нагревании реакциями конденсации, которые способствуют переходу лигнина в более термостабильную форму. Особенностью лигнина является его значительная роль в проходящих реакциях. К ним относятся все реакции вшивания цепей с образованием новых углерод-углеродных связей, независимо от механизма, приводящие к увеличению молекулярной массы, снижению растворимости и реакционной способности лигнина.

В процессе уплотнения под действием высоких температуры и давления прессующей матрицы в материале древесины происходят изменения, приводящие к переходу лигнина в высокоэластичное состояние и образованию в результате

реакций конденсации связей $\alpha - 5$. В процессе охлаждения уплотненной древесины лигнин переходит в стеклообразное состояние, в результате чего фиксируются деформации, произошедшие под влиянием механического воздействия.

Лиственные породы древесины содержат 18–24% лигнина, что говорит о широких возможностях использования этих пород в процессах тиснения и прессования. Использование хвойных пород древесины для данного вида обработки затруднено, так как в них находятся экстрактивные вещества, которые затрудняют процесс обработки.

Размягчение лигнина происходит в определенном интервале температур. Температуры размягчения лигнинов в зависимости от древесной породы колеблются в пределах от 130 до 190°C для сухих образцов со структурой, близкой к природному лигнину.

На температуру размягчения лигнинов влияет присутствие влаги. Вода оказывает на лигнин пластифицирующее действие и снижает температуру размягчения (до 80–130°C). Однако этот эффект вызывается лишь небольшим количеством воды. Так, при влагосодержании около 2% температура размягчения природного лигнина снижается до 110–115°C [9,10].

Следовательно, в процессе уплотнения древесины мягких лиственных пород влажностью 6%, при температуре плит прессы 110°C, происходит переход лигнина в высокоэластичное состояние, в результате чего происходит пластификация древесины.

В результате горячей термообработки повышается прочность верхнего слоя, древесина становится мало подверженной гниению и действию грибов. Такую древесину можно использовать при наружных условиях эксплуатации, а также где важна экологичность.

На рис. 3, 4 показаны снимки (микросъемка) образцов натуральной и уплотненной древесины ольхи с нанесенным клеевым материалом, увеличение в 200 раз.

Анализируя полученные снимки структуры древесины и ее контакта с клеевым материалом на микроуровне с использованием микроскопии, можно сделать следующие выводы:

- при нанесении клеевого материала на натуральную и уплотненную древесину отчетливо видна глубина проникновения клеевого состава и профиль границы «клеевой материал – основа», повторяющий профиль поверхности древесины;

- на снимке образца уплотненной древесины с нанесенным клеевым материалом видно уменьшение клеточного пространства и пористости уплотненной древесины, а также изменение характера ее поверхности, граница древесины и клеевого материала четко различима и

однородна, площадь контакта клеевого материала с поверхностью древесины меньше по сравнению с натуральной;

- проницаемость клеевым материалом можно оценить максимально возможной, как для натуральной, так и для уплотненной древесины. Клеевой материал заполняет все открытые неровности поверхности древесины;

- при нанесении клеевого материала на уплотненную древесину заметно уменьшение толщины его слоя.

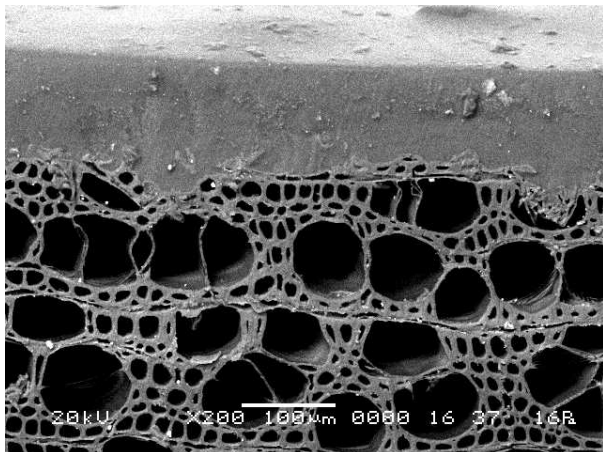


Рис. 3. Образец натуральной древесины с нанесенным модифицированным клеевым материалом (увеличение в 200 раз)

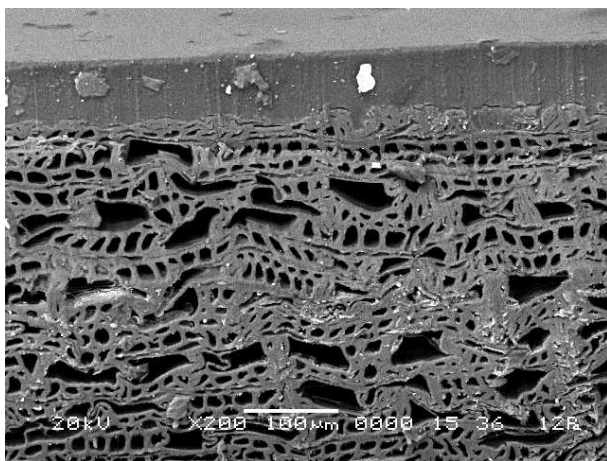


Рис. 4. Образец уплотненной древесины с нанесенным клеем (увеличение в 200 раз)

В целях снижения энерго- и трудоемкости процесса формирования рельефных оттисков на поверхности древесины, уменьшения напряжения и деформации внутри детали альтернативой может быть предложена технология художественно-декоративной отделки методом холодного тиснения [6, 7].

Она включает следующие операции: подготовка образцов и оборудования; формирование пакета для прессования; прессование (глубина

прессования 2,5 мм, продолжительность 2 мин, пуансон диаметром 5 мм); снятие слоя древесины на глубину уплотненных волокон до гладкой поверхности; обильное увлажнение поверхности, в результате которого уплотненные волокна восстанавливают свою форму и создают рельефный оттиск; сушка 24 ч при температуре 20–25°C; формирование защитно-декоративного покрытия.

Эксперименты проводились на древесине липы, бука, груши и дали положительные результаты. Но заметим, что данная технология при всей ее привлекательности требует значительного времени и большого числа шаблонов (на каждый рисунок свой шаблон). Пока эта технология не нашла широкого практического применения.

Недостаток способа формирования декоративной резьбы и имитации текстуры древесины на фасадных элементах мебели и столярно-строительных изделий методом горячего тиснения поверхности в прессах при помощи матрицы (шаблон-клише) – их ограниченная длина, определяемая размерами плит пресса и прессующей матрицы.

Поэтому некоторыми европейскими (в основном итальянскими) фирмами были созданы станки проходного типа для горячего тиснения рельефов по натуральной древесине, клеевой фанере и ДВП (MDF), обеспечивающие получение деталей неограниченной длины. Это станки, рабочим органом которых служит нагреваемый вращающийся приводной ролик из закаленной стали с выгравированным на поверхности контррельефом, способный продавливать в материале неглубокие рельефы (до 3 мм) [16–19].

На рис. 5 показаны варианты рельефных рисунков, полученных тиснением горячим вальцом в станках проходного типа.



Рис. 5. Варианты образцов рельефных оттисков

На рис. 6 показаны схемы тиснения при помощи вала с нанесенной на его поверхность контр-

формой элементов резьбы или текстуры древесины и варианты декоративных элементов [16].

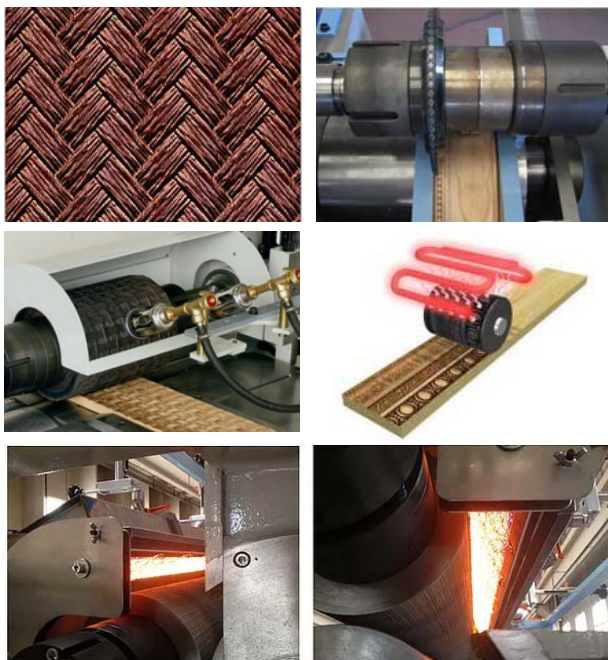


Рис. 6. Схемы тиснения при помощи вала с нанесенной на его поверхность контр-формой элементов резьбы или текстуры древесины и варианты декоративных элементов

Частота повторения рисунка (рапорт) зависит от диаметра тиснильного вала [18].

В станках такого типа заготовка, уложенная на плоский стол станка, базируется между двумя направляющими линейками, захватывается этим роликом и проходит под ним, в результате чего на ее поверхности отпечатывается рисунок.

Нагрев вала-шаблона может осуществляться открытым пламенем, но этот вариант пожароопасный. Более безопасным следует признать способ нагрева шаблона с помощью специальных керамических нагревателей. Разогретый ролик с усилием прокатывается по поверхности изделия и оставляет на ней соответствующий рельеф.

Рабочая ширина такого станка может составлять до 900 мм, что позволяет осуществлять тиснение не только на брусках, но и на щитовых деталях, например, на филенках дверей корпусной мебели. На поверхности древесины формируются различные рельефные отски, с сохранением их стабильности и формы за счет высушивания до влажности 8% и охлаждения до комнатной температуры.

Характерной особенностью способа также является потемнение древесины по контурам тисненого рельефа, что оттеняет и дополнительно подчеркивает полученный рисунок.

Одним из способов декорирования также является использование древесной пульпы, которая является идеальным сырьем для мебельного декора, имеющим свойства и характеристики натуральной древесины. Готовые изделия практически не отличаются от деревянных и служат великолепной альтернативой дорогостоящим элементам декора из древесины. При помощи специальных вальцов и форм масса формируется, прессуется, приобретая форму нужного элемента. Использовать ее можно на деревянных поверхностях, вне зависимости от формы и неровности основания. Это возможно благодаря составу пульпы и мягкости самого материала (готовый состав похож на пластилин), который может принимать любые замысловатые формы узоров в декорировании различных изделий (рис. 7) [20].



Рис. 7. Декоры, получаемые с использованием древесной пульпы

Эффективность резьбы и тиснения может быть усилена отделкой (подкрашивание, металлизация, золочение, отделка лаками или эмалями).

Заключение. Таким образом, декорирование элементов мебели и столярно-строительных изделий из древесины мягких лиственных пород методом тиснения текстуры ценных пород является экономически целесообразным и обусловлено необходимостью ресурсосбережения и импортозамещения в деревообработке. Данная проблема может быть решена за счет разработки специальной технологии использования более дешевых малоценных лиственных и хвойных пород древесины, вместо ценных и твердых лиственных.

Литература

1. Барташевич А. А., Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2015. 437 с.
2. Барташевич А. А. Технология производства мебели. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 480 с.
3. Барташевич А. А., Трофимов С. П. Конструирование мебели. Минск: Совр. школа, 2006. 335 с.

4. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М.: Лесная пром-сть, 1989. 294 с.
5. Дубовская Л. Ю. Технология отделки мебели и столярных изделий. Минск: РИПО, 2016. 295 с.
6. Кирилина А. В. Технология декоративной отделки поверхности древесины холодным тиснением: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Екатеринбург, 2017. 20 с.
7. Кирилина А. В., Ветошкин Ю. И. Различие и особенности горячего и холодного тиснения древесины // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды междунар. Евразийского симпозиума, Екатеринбург, 23–25 сент. 2014 г.* / Урал. гос. лесотехн. ун-т; редкол.: В. Г. Новоселов (отв. ред.) [и др.]. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. С. 73–77.
8. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология производства мебели и столярно-строительных изделий. Минск: БГТУ, 2017. 241 с.
9. Особенности термомеханического модифицирования древесины и физико-механические характеристики уплотненного шпона / Е. В. Коробко [и др.]. Минск: ИТМО имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2014. 48 с.
10. Игнатович Л. В., Утгоф С. С. Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины сосны и ольхи // *Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть.* С. 192–196.
11. Прохорчик С. А. Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Минск: БГТУ, 2011. 154 с.
12. Игнатович Л. В. Способ изготовления паркетных изделий из шпона с заданным рисунком лицевого слоя // *Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть.* С. 94–100.
13. Рыбин Б. М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий для древесины и древесных материалов. М.: МГУЛ, 2003. 320 с.
14. Справочник мебельщика / под ред. В. П. Бухтиярова. М.: МГУЛ, 2005. 600 с.
15. Черепяхина А. Н. История художественной обработки изделий из древесины. М.: Высшая школа, 1982. 192 с.
16. Рельефный погонаж // *Сочинский профессиональный техникум.* URL: http://www.pl19.ru/school/article/index.php?LSECTION_ID=377&ELEMENT_ID=3383 (дата обращения 01.03.2018).
17. Горячее тиснение по дереву [Электронный ресурс] / *dekordrev.by.* URL: <http://dekordrev.by/stati/2015-03-18/novaya-zapis> (дата обращения 01.03.2018).
18. Зайдес С. А., Шерстнева Е. Ю. Влияние влажности древесины на способность к деформированию при локальном нагружении // *Дизайн. Теория и практика.* 2016. № 23. С. 57–67.
19. Федосенко И. Г. Физические и механические свойства древесины, термически модифицированной в органических маслах // *Труды БГТУ. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть,* 2012. С. 151–153.
20. Древесная пульпа [Электронный ресурс] / *nikidekor.ru.* URL: <http://nikidekor.ru/materialy/pulpa/drevesnaya-pulpa-pasta> (дата обращения: 01.03.2018).

References

1. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 437 p.
2. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli* [Technology of furniture production]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2003. 480 p.
3. Bartashevich A. A., Trofimov S. P. *Konstruirovaniye mebeli* [Furniture design]. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 335 p.
4. Borovikov A. M., Ugolev B. N. *Spravochnik po drevesine* [Wood Handbook]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 294 p.
5. Dubovskaya L. Yu. *Tekhnologiya otdelki mebeli i stolyarnykh izdeliy* [Technology of furnishing of furniture and joiner's products]. Minsk, RIPO Publ., 2016. 295 p.
6. Kirilina A. V. *Tekhnologiya dekorativnoy otdelki poverkhnosti drevesiny kholodnym tisnieniem: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Technology of decorative finishing of the wood surface with cold stamping. Abstract of thesis cand. techn. sci.]. Ekaterinburg, 2017. 20 p.
7. Kirilina A. V., Vetoshkin Yu. I. [Difference and features of hot and cold wood embossing]. *Trudy mezhdunarodnogo Evraziyskogo simpoziuma (Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka)* [Proceedings of the International Eurasian Symposium (Woodworking: technologies, equipment, management of the XIII century)]. Ekaterinburg, 2014, pp. 73–77 (In Russian).
8. Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli i stolyarno-stroitel'nykh izdeliy* [Technology of production of furniture and carpentry products]. Minsk, BGTU Publ., 2017. 241 p.
9. Korobko Ye. V., Bilyk V. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V., Utgof S. S., Bartashevich A. A. *Osobennosti termomekhanicheskogo modifitsirovaniya drevesiny i fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki*

uplotnennogo shpona [Features of thermomechanical modification of wood and physicomechanical characteristics of compacted glass]. Minsk, ITMO imeni A. V. Lykova NAN Belarusi, 2014. 48 p.

10. Ignatovich L. V., Utgof S. S. Features of structural changes in thermomechanical modification of pine and alder wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 192–196 (In Russian).

11. Prokhorchik S. A. *Tekhnologiya i oborudovanie derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Technology and equipment for woodworking industries]. Minsk, BGTU Publ., 2011. 154 p.

12. Ignatovich L. V. The method of manufacturing parquet products from veneer with a given pattern of the face layer. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 94–100 (In Russian).

13. Rybin B. M. *Tekhnologiya i oborudovanie zashchitno-dekorativnykh pokrytiy dlya drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and equipment of protective and decorative coatings for wood and wood materials]. Moscow, MGUL Publ., 2003. 320 p.

14. *Spravochnik mebel'shchika* [Directory of the furniture maker]. Ed. by V. P. Bukhtiyarov. Moscow, MGUL Publ., 2005. 600 p.

15. Cherepakhina A. N. *Istoriya khudozhestvennoy obrabotki izdeliy iz drevesiny* [History of artistic processing of wood products]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982. 192 p.

16. *Rel'yefnyy pogonazh* [Embossed mouldings]. Available at: http://www.school/article/index.php?LSECTION_ID=377&ELEMENT_ID=3383 (accessed 01.03.2018).

17. *Goryachee tisnenie po derevu* [Hot stamping on wood]. Available at: <http://dekordrev.by/stati/2015-03-18/novaya-zapis> (accessed 01.03.2018).

18. Zaydes S. A., Sherstneva Ye. Yu. Effect of wood moisture on the ability to deform under local loading. *Dizayn. Teoriya i praktika* [Design. Theory and practice], 2016, no. 23, pp. 57–67 (In Russian).

19. Fedosenko I. G. Physical and mechanical properties of wood thermally modified in organic oils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 151–153 (In Russian).

20. *Drevesnaya pul'pa* [Wood pulp]. Available at: <http://nikidekor.ru/materialy/pulpa/drevesnaya-pulpa-pasta> (accessed 01.03.2018).

Информация об авторах

Барташевич Александр Александрович – кандидат технических наук, почетный доктор, профессор, профессор кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: BAArch_AABS@mail.ru

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

Шетько Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tidid@belstu.by

Гайдук Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: haiduk@belstu.by

Information about the authors

Bartashevich Alexandr Aleksandrovich – PhD (Engineering), Honorary Doctor, Professor, Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: BAArch_AABS@mail.ru

Ignatovich Ludmila 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

Shet'ko Sergey Vasil'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, 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: tidid@belstu.by

Haiduk Sergey Sergeevich – PhD (Engineering), 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: haiduk@belstu.by

Поступила 05.03.2018

УДК 674.07

В. Г. Василевич^{1,2}, Н. В. Мазаник²¹ПУП «Шервин-Виллиамс Бел»²Белорусский государственный технологический университет**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ОТДЕЛКИ ДРЕВЕСИНЫ**

В настоящее время существует множество различных материалов для изготовления мебели, но производители стараются применять натуральные материалы, сочетая их с искусственными. Мебель из природных материалов позволяет телу человека ощущать максимальный комфорт.

Деревянный массив на сегодняшний день является самым дорогим материалом в мебельном производстве. Преимуществ у данного материала множество: долговечность, экологичность, эксклюзивность и т. д., но вместе с тем, древесина очень сложна в обработке. Прежде чем поступить на производство, древесина должна быть высушена без внутренних напряжений и трещин. На это требуется много времени, в зависимости от сорта древесины. Чтобы материал не был подвержен гниению и грибкам, его обрабатывают антисептиками. После этого осуществляется производство изделия и его финишная отделка лакокрасочными материалами.

В статье рассмотрены основные методы испытаний лакокрасочных покрытий по ГОСТ, проведено сопоставление требований ГОСТ и Европейских стандартов. Основные свойства покрытий, которые подвергаются контролю: адгезия покрытия к подложке, толщина пленки, эластичность и твердость покрытия, водостойкость, светостойкость. Также описана методика проведения ускоренных испытаний, называемых NordTest, которые позволяют проводить комплексную оценку качества лакокрасочных покрытий, имитируя годовой цикл испытаний.

Ключевые слова: натуральные материалы, древесина, мебель, лакокрасочные материалы, ГОСТ, Европейский стандарт, адгезия, эластичность, твердость, водостойкость, светостойкость, NordTest.

V. G. Vasilevich^{1,2}, N. V. Mazanik²¹PUE "Sherwin-Williams Bel"²Belarusian State Technological University**BELARUSIAN AND EUROPEAN METHODS FOR QUALITY ANALYSIS OF EXTERIOR WOOD COATINGS**

Currently, there are many different materials for furniture, but manufacturers are trying to use natural materials, combining them with artificial ones. Furniture made of natural materials allows the body to feel maximum comfort. Solid wood is by far the most expensive material in furniture production. Advantages of this material are numerous: durability, environmental friendliness, exclusivity, etc. But at the same time, wood is very difficult to process. Before enter the production, the timber must be dried without internal stresses and cracks. This takes a long time, depending on the type of wood. To ensure that the material is not prone to rotting and discoloration, it is treated with antiseptics. After that, the wood product is manufactured and finished with protective and decorative materials. The article describes the main methods for testing protective and decorative coatings according to GOSTs. The requirements of Belorussian GOSTs and European standards are compared. The main properties of coatings that are considered include: coating adhesion to the substrate, film thickness, elasticity and hardness of the coating, water resistance, lightfastness. The methodology for carrying out accelerated tests (so called NordTest) is also described. This test simulates the annual service cycle of coating and can be used for a comprehensive assessment of paint quality.

Key words: natural materials, wood, furniture, paint and varnish materials, GOST, European standard, adhesion, elasticity, hardness, water resistance, lightfastness, NordTest.

Введение. Древесина обладает разнородными свойствами. Разнообразие биологических, химических, физико-механических, технологических и структурных характеристик обуславливает действительно широкий спектр свойств древесины. Даже когда древесина содержит 8–10% влаги, она постоянно оказывает существенное влияние. В зависимости от конструкции конкретного изделия, метода его установки,

эксплуатации, температурных и влажностных колебаний, древесина расширяется и сужается в размерах, поглощает, удерживает и выделяет влагу. Все эти факторы непосредственно влияют на прочностные и защитные свойства покрытия [1].

При эксплуатации деревянных конструкций в плохих погодных условиях (загрязненный воздух, кислотные дожди и т. д.), в условиях повы-

шенной влажности и сильного ветра, защитные свойства лаковой пленки ниже, чем заявленные производителями лакокрасочных материалов (ЛКМ). Качество отделки является определяющим понятием, влияющим на срок службы лакокрасочного покрытия и изделия в целом. Одной из причин, вызывающих претензии к качеству отделки поверхности, является влага, проникающая в древесину из-за следующих факторов:

- неправильная установка наружных конструкций;
- неудовлетворительная вентиляция помещений;
- механическое повреждение лаковой пленки.

Для предотвращения проникновения воды или влаги в древесину, лаковая пленка должна быть качественной, цельной и однородной.

Внешний вид садовой мебели представлен на рисунке.



Садовая мебель

Лакокрасочное покрытие защищает садовую мебель от различных воздействий погодных условий. Оно должно быть очень эластичным для устойчивости к климатическим факторам и в то же время позволять древесине «работать» и быть прочным для противостояния механическим повреждениям. Град может повредить плоские поверхности и кромки. Для того чтобы лаковая пленка противостояла действию града, она должна быть очень твердой, что в свою очередь приведет к ее растрескиванию при естественном изменении размеров древесины. Поэтому лакокрасочные покрытия для наружной отделки древесины разрабатываются эластичными и прочными. В случаях повреждения лаковой пленки, она должна быть немедленно отремонтирована для предотвращения попадания влаги/воды под покрытие и его дальнейшего разрушения.

Эксплуатационные качества лакокрасочных покрытий определяются комплексом их физико-механических свойств: адгезией к древесине, твердостью и эластичностью, прочностью, устойчивостью к истиранию, стойкостью к воздействию тепла, света и влаги. Эти свойства в период службы покрытия непрерывно меняются: бо-

лее быстро в начальный период его образования, в процессе высыхания пленки, и значительно медленнее в период старения покрытия [2].

Основная часть. У большинства лакокрасочных покрытий с течением времени постепенно повышаются их твердость, теплостойкость и хрупкость, приводящие в конечном итоге к растрескиванию и порче покрытия. Поэтому определение свойств покрытий является условным, так как показатели их не остаются постоянными во времени. Сроки проведения испытания покрытий после их нанесения оговаривают в технических условиях на каждый лакокрасочный материал.

Физико-механические свойства покрытий зависят в первую очередь от свойств лакокрасочных материалов. На свойства покрытий оказывают влияние также технология и режимы нанесения материалов, способы сушки и обработки, толщина покрытий и шероховатость поверхности древесины и древесного материала.

Методы получения лакокрасочных покрытий на образцах для испытания определены ГОСТ 8832-76. В качестве образцов (подложки) могут быть использованы фотостекло, сталь, дюралюминий, древесина и фанера. Испытания покрытий (пленок) заключаются в том, что на образцы подложки наносят испытываемые лакокрасочные материалы, точно копируя операции технологического процесса окраски изделия, а затем производят требуемые испытания. Рассмотрим основные методики испытаний лакокрасочных покрытий.

Определение адгезии необходимо для оценки прочности сцепления лакокрасочной пленки с подложкой. Наиболее распространены три метода определения адгезии покрытия.

Метод отслаивания относится к количественным методам. Его сущность состоит в определении адгезии путем отслаивания гибкой подложки (фольги) от армированной стеклотканью пленки и измерении необходимого для этого усилия на разрывной машине.

Метод решетчатых надрезов по ГОСТ 31149-2014 [3, 4] предусматривает следующую процедуру. На испытываемом покрытии, нанесенном на подложку, скальпелем или бритвенным лезвием делают не менее пяти надрезов до подложки по шаблону. Расстояние между надрезами 1 мм для покрытий толщиной менее 60 мкм и 2 мм для покрытий толщиной более 60 мкм. Столько же надрезов делают перпендикулярно первым так, чтобы на покрытии образовалась решетка. Затем кистью очищают покрытие от кусочков покрытия, образовавшихся в результате надрезов. Адгезию покрытия оценивают по четырехбалльной шкале: 1 – края надрезов гладкие, кусочки покрытия не отслаиваются; 2 – незначительное отслаивание покрытия в виде точек

вдоль линии надрезов или в местах их пересечения (до 5% площади каждой решетки); 3 – отслаивание покрытия вдоль линии надрезов или полос (до 35% поверхности каждой решетки); 4 – полное отслаивание или частичное отслаивание покрытия полосами или квадратами вдоль линии надрезов (более 35% поверхности с каждой решетки).

Метод параллельных надрезов относится к категории качественных. Его применяют для более точной оценки адгезии покрытий, получивших балл 1 по методу решетчатых надрезов. На покрытие делают пять параллельных надрезов до подложки на расстоянии 1 мм друг от друга. Затем полосу липкой полиэтиленовой ленты размером 10×100 мм наклеивают на покрытие перпендикулярно надрезам, оставляя один конец свободным, и быстрым движением ленту срывают под прямым углом к покрытию. Адгезию в этом случае оценивают по трехбалльной шкале.

Толщина лакокрасочной пленки может быть определена по ГОСТ 33094-2014 [5]. В соответствии с данным стандартом толщину пленки измеряют микрометром КИ-0-25. Сначала в нескольких местах определяют толщину неокрашенной пластинки, затем на нее наносят испытуемый лакокрасочный материал. После сушки покрытия вновь измеряют толщину пластинки в зафиксированных точках. За толщину покрытия принимается разность между парными измерениями в каждой точке.

Метод определения эластичности покрытия по ГОСТ 6806-73 подразумевает испытание образцов на изгиб [6, 7]. Прочность пленки на изгиб определяют в специальном устройстве, представляющем собой панель, на которой расположены 12 стальных пронумерованных стержней различного диаметра. Испытание проводят на трех пластинах из черной полированной жести или алюминиевых с нанесенным на них и высушенным лакокрасочным материалом. Пластинку накладывают на стержень покрытием наружу, плотно прижимают к нему и плавно изгибают в течение 1–2 с на 180° вокруг стержня. После окончания теста место изгиба рассматривают через лупу. Если трещины и отслаивания отсутствуют, пластинку изгибают в другом месте на стержне меньшего диаметра, пока не будут обнаружены указанные выше дефекты. За результат испытания принимают минимальный диаметр стержня, на котором испытуемое покрытие не менее чем у двух образцов осталось неповрежденным.

Определение твердости лакокрасочного покрытия также позволяет прогнозировать срок службы изделия. Твердость характеризует сопротивление материала проникновению в него другого твердого недеформируемого тела и

имеет размерность давления (МПа). В соответствии с ГОСТ 16838-71 [8] твердость покрытий определяют на контрольных образцах из древесины или древесных материалов размером 90×120 мм. На контрольном образце, изготовленном из того же материала, что и основная продукция, и отделанном по технологии, принятой для данного вида продукции, твердость покрытия определяют в трех точках, равномерно распределенных по испытываемой поверхности, но не ближе 10 мм от края образца. Испытывают лакокрасочные покрытия на твердость на микротвердометре ПМТ-3 или любом другом приборе, имеющем индентор, и обеспечивающем плавное приложение нагрузки 0,2 Н. Контрольный образец кладут на столик. На шток индентора (алмазная четырехгранная пирамида с углом между противоположными гранями 136°) устанавливают груз массой 0,02 кг. Плавно поворачивая рукоятку механизма нагружения, опускают груз с индентором на испытуемый участок покрытия. Время опускания индентора не должно быть менее 5 с. Плавно поворачивая рукоятку механизма нагружения в обратном направлении, поднимают индентор. Столик поворачивают в исходное положение. Окулярным микрометром измеряют с погрешностью до 0,5 мкм диагональ полученного отпечатка. По величине диагонали отпечатка и углу при вершине между противоположными гранями, равному 36°, определяют площадь боковой поверхности. Число твердости определяется как частное от деления величины нагрузки на условную площадь боковой поверхности отпечатка. Для ускорения определения твердости в ГОСТе имеется таблица, в которой каждому размеру диагонали отпечатка соответственно указано числовое значение твердости. Таким образом, измерив диагональ отпечатка, по таблице определяют твердость. При определении твердости лакокрасочных покрытий за результат испытания принимают среднее арифметическое значение твердости покрытия из трех замеров на образце.

Также может быть использован метод определения твердости пленки по маятниковому прибору М-3. Он основан на определении отношения времени затухания колебаний маятника, шариковые опоры которого опираются на лакокрасочное покрытие, нанесенное на стекло, ко времени затухания колебаний того же маятника, когда шариковые опоры его опираются на чистое стекло. В данном случае характеристикой твердости будет отношение затухания колебаний на материале по сравнению с чистым стеклом, что не дает реального представления о твердости покрытия.

Водостойкостью называют способность лакокрасочных покрытий сохранять свои эксплуатационные свойства при длительном воздейст-

вии воды. Это одна из основных характеристик ЛКМ, существенно влияющая на защитные свойства. Водостойкость покрытий определяется природой пленкообразователя и пигментов, проницаемостью покрытия для воды, адгезией покрытия к защищаемой поверхности. Для обеспечения заданной водостойкости необходимо правильно выбрать ЛКМ и систему покрытий, а также строго соблюдать принятую технологию подготовки и окраски поверхности. Водостойкость пористых материалов зависит как от их природы, так и от величины пор и их распределения в объеме материала. Водостойкость полимерных материалов связана с наличием гидрофильных функциональных групп в макромолекуле, а также гидрофильных низкомолекулярных компонентов-наполнителей. Для оценки водостойкости материалов на основе термореактивных смол нужно знать тип наполнителя и его количество, характер отвердителя и степень отверждения, а для водостойкости резин – способ и степень вулканизации [9].

Наиболее распространенной в промышленности методикой определения данного важнейшего показателя является выдержка образцов покрытий (окрашенных пластин или цилиндрических стержней) в воде при заданных температурах и времени выдержки с последующей оценкой состояния материалов. Испытываемый ЛКМ наносят на две металлические пластинки размером 70×150 мм по режиму, предусмотренному в стандарте или технических условиях. После высушивания подвешенные вертикально пластинки с покрытием погружают на 2/3 высоты в стеклянную ванночку с дистиллированной водой. Торцы по периметру пластинок предварительно покрывают мendeleeвской замазкой, чтобы вода не попадала через торец пластинки внутрь покрытия. После выдержки в воде при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение времени, установленного техническими условиями, пластинки вынимают из воды, сушат при помощи фильтровальной бумаги, выдерживают на воздухе 1–2 ч и оценивают внешний вид и цвет пленки. Не допускаются белые матовые пятна, отслаивание, сыпь, пузыри и другие разрушения. Количественно водостойкость оценивают обычно по массе воды (в %), поглощенной образцом, или по относительному изменению каких-либо показателей (чаще всего линейных размеров, электрических или механических свойств), после того как покрытие определенное время находилось в воде.

Светостойкость – это способность пигментов или красителей сохранять свойства при воздействии света. В процессе эксплуатации ЛКМ изменяют свой цвет под действием ультрафиолетовых лучей естественного света и ис-

точников искусственного освещения. Чем меньше подобные изменения, тем выше светостойкость материала. Светостойкость покрытий зависит от концентрации пигмента или красителя, от вида полимера и присутствия различных добавок, от состояния поверхности образца, а также от спектрального состава и интенсивности падающего света, температуры и химического состава окружающей среды.

Некоторые красящие вещества на свету темнеют, другие выцветают. Требования по светостойкости, предъявляемые к окрашенному покрытию, определяются химической природой полимера и условиями эксплуатации покрытия. Светостойкость повышают введением светостабилизаторов, снижают сенсибилизирующими добавками. О светостойкости покрытий можно судить уже по начальной стадии их разрушения, а именно по изменению блеска.

Светостойкость различных ЛКМ определяют по-разному. ГОСТ 21903-76 [10] устанавливает методы определения условной светостойкости ЛКМ и неорганических пигментов. Сущность методов заключается в облучении лакокрасочных покрытий или выкрасок пигментов источниками искусственного света (например, излучением ксеноновой лампы) в течение заданного интервала времени с последующим определением изменения внешнего вида, цвета, блеска и коэффициента отражения. В зависимости от условий эксплуатации материалов образцы облучают через слой воды, непосредственно и через светофильтр. Испытания проводят с помощью аппарата искусственной погоды (АИП), блескомера ФБ-2, компаратора цвета ФКЦШ-М, ксеноновых ламп и подобных приборов.

Условную светостойкость краски x (в процентах) можно вычислить по формуле, определяя абсолютное значение изменения коэффициента отражения:

$$x = 100 - p,$$

где p – отношение коэффициента отражения освещенного лампой образца к коэффициенту отражения неосвещенного образца, %.

Метод определения стойкости лакокрасочных покрытий к воздействию переменных температур установлен ГОСТ 19720-74 [11]. Для определения этого показателя применяют следующую аппаратуру: камеру влажности, обеспечивающую температуру $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительную влажность воздуха 98–99%; холодильную камеру, обеспечивающую температуру $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$; влагомер с погрешностью измерения до 2%, обеспечивающий измерение влажности древесины в диапазоне 8–10%.

Стойкость лакокрасочных покрытий определяют на контрольных образцах размером

120×90 мм, изготовленных из древесностружечной плиты марки П-1 или П-2, облицованной строганым шпоном из древесины ясеня.

Стойкость эмалевых покрытий к воздействию переменных температур определяют на контрольных образцах из твердой древесноволокнистой плиты того же размера. Контрольные образцы вырезают до формирования покрытия. Допускается изготавливать контрольные образцы из щитовой детали, перед отделкой разделенной пропилами на участки, по размеру равные контрольным образцам. Глубина пропила составляет 1/2–2/3 толщины детали. Отделяют детали по пласти со стороны пропилов. Окончательный распил отделанной детали на образцы производят с неотделанной стороны навстречу предварительно сделанным пропилам, при этом пила не должна касаться лакового покрытия. Влажность образцов должна быть $(8 \pm 2)\%$.

Подготовка контрольных образцов перед отделкой, приготовление рабочей смеси лакокрасочного материала, метод его нанесения, расход, технологические выдержки и операции облагораживания производят в соответствии с технической документацией по применению лакокрасочного материала. Перед испытанием образцы выдерживают при температуре $(18-23)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(65-70)\%$ в течение 24 ч. Для образцов с покрытиями, не требующими облагораживания, время выдержки отсчитывают с начала до полного его высыхания, требующими облагораживания – с момента окончания последнего.

Испытание проводят на 10 образцах по циклам. Каждый цикл состоит из двух этапов. На первом этапе испытываемые образцы помещают в камеру влажности при температуре $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха $(98-99)\%$ и выдерживают в течение 1 ч. На втором этапе образцы перекладывают из камеры влажности в холодильную камеру и выдерживают в ней 1 ч при температуре $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Циклическую выдержку образцов повторяют последовательно девять раз. Испытание после каждого трех циклов прерывают на 18 ч. В это время покрытия выдерживают при температуре $(18-23)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(65-70)\%$. Через девять циклов образцы осматривают для выявления трещин на лакокрасочном покрытии невооруженным глазом. Перед осмотром на испытываемую поверхность образцов накладывают трафарет в виде рамки, внешний размер которого равен размеру образцов, внутренний – 100×70 мм. Покрытие считают разрушенным, если на нем обнаружены любые трещины, независимо от их размера и количества, находящиеся на поверхности, ограниченной трафаретом. Показатель стойкости

покрытий к воздействию переменных температур (M) в процентах вычисляют по формуле

$$M = n \cdot 100 / N,$$

где n – количество образцов с неразрушенными покрытиями; N – количество образцов для испытания.

В условиях современного производства и развития новых лакокрасочных материалов появилась необходимость производить ускоренные испытания различных материалов для интенсификации производства и модифицирования этих материалов [12, 13]. Это связано с тем, что обычные климатические испытания материалов для наружной отделки древесины занимают от 1 года до 3 лет, а ускоренные испытания за 3 недели воссоздают 365 дней, т. е. один год [14, 15].

В Республике Беларусь имеется несколько сертифицированных лабораторий, которые проводят ускоренные климатические испытания лакокрасочных покрытий для древесины. В их числе:

- Институт механики металлополимерных систем НАНРБ (г. Гомель);
- Базовая испытательная лаборатория ОАО «ММЗ им. Вавилова – управляющая компания холдинга БелОМО» (г. Минск);
- Испытательный центр Белорусского государственного института стандартизации и сертификации (г. Минск).

В Европе используются специальные сертификаты, подтверждающие качество систем для наружной отделки древесины. Например, престижный сертификат CATAS WKI PREMIUM PLUS выдают только два европейских центра сертификации:

- Лаборатория исследования и развития материалов для мебели из древесины CATAS (Италия);
- Лаборатория исследования и развития материалов для мебели из древесины WKI (Германия).

Также стоит отметить, что большинство европейских производителей лакокрасочных материалов проводят предварительные испытания в собственных лабораториях, изменяют при необходимости полученные материалы, согласно показаниям их тестов, а лишь потом проводят сертифицированные испытания в нотифицированных центрах.

Лаборатории центра выполняют оценку систем наружной отделки на долговечность методом ускоренного теста. Ускоренный тест носит название NordTest или GardnerWheel (название может отличаться, но суть теста остается одинаковой). Процедура испытания заключается в том, что материалы и компоненты, входящие в состав системы для наружной отделки, подвергаются попеременному воздействию УФ-излучения, тепла, воды и мороза. На основании результатов испытания делается заключение о качестве исследуемых систем. В случае, если по-

крытие отвечает всем требованиям стандарта, выдается сертификат соответствия.

Заключение. Анализ методик испытания лакокрасочных покрытий, предназначенных для наружной отделки древесины, позволяет сделать следующие выводы. Важнейшими характеристиками систем, заявленных для данной области применения, являются толщина покрытия, сила его адгезии к подложке, твердость, водостойкость, сопротивление паропрооницанию, стойкость к истиранию, к солевому туману и химическому воздействию, светостойкость и устойчивость к действию переменных температур. Несмотря на то, что измерение всех этих параметров регламентировано в отечественных стандартах, соответствующие методики испытаний имеют ряд существенных недостатков. В первую очередь это устаревшая приборная база. Некоторые белорусские предприятия прописывают в технологических инструкциях операции контроля качества покрытий на основании стандартных методик, но с использованием современного компактного оборудования. Это значительно упрощает анализ качества выпускаемой продукции, но такая процедура все же не является нормированной.

Во-вторых, не все описанные методики испытаний имеют аналоги в Европейских стандартах. Вместе с тем Европейские нормы регламентируют значительно большее количество показателей, которым должно отвечать покрытие для наружной отделки древесины.

Также следует отметить широкое использование в странах Европейского союза тестов на ускоренное старение лакокрасочных покрытий. Данные тесты позволяют проводить испытания, эквивалентные одному году службы, за три недели. Использование ускоренных испытаний позволяет сократить срок вывода новых лакокрасочных материалов на рынок и снижает издержки на проведение длительных тестов.

Таким образом, очевидна необходимость обновления базы нормативов, относящихся к испытаниям лакокрасочных покрытий, а также гармонизация отечественных методик с требованиями, выдвигаемыми к покрытиям в странах Европейского союза. Одним из первоочередных этапов данной работы должна стать разработка методики ускоренного старения покрытий, включающей воздействия переменных температуры и влажности.

Литература

1. Durability of wood and wood-based products: ISO 21887:2007. Publ. 01.11.2007. International Organization for Standardization, 2007. 6 p.
2. Ekstedt J. Studies on the barrier properties of exterior wood coatings: Doctoral thesis. Stockholm: Bygghvetenskap, 2002. 63 p.
3. Определение адгезии методом решетчатого надреза: ГОСТ 31149-2014. Введ. 01.09.2015. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
4. Paints and varnishes. Cross-cut test: ISO 2409:2013. Publ. 01.02.2013. International Organization for Standardization, 2013. 14 p.
5. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения толщины прозрачных и непрозрачных защитно-декоративных покрытий: ГОСТ 33094-2014. Введ. 01.01.2016. М.: Стандартинформ, 2015. 12 с.
6. Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе: ГОСТ 6806-73. Введ. 01.07.74. М.: Издательство стандартов, 1988. 7 с.
7. Paints and varnishes. Bend test (cylindrical mandrel): ISO 1519:2011. Publ. 01.01.2011. International Organization for Standardization, 2011. 9 p.
8. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения твердости лакокрасочных покрытий: ГОСТ 16838-71. Введ. 01.07.1972. М.: Издательство стандартов, 1988. 7 с.
9. Wood preservatives. Artificial weathering of treated wood prior to biological testing. UV-radiation and water-spraying procedure: CEN/TR 15046:2005. Publ. 15.04.2005. The British Standards Institution, 2005. 16 p.
10. Материалы лакокрасочные. Методы определения условной светостойкости: ГОСТ 21903-76. Введ. 01.01.78. М.: Издательство стандартов, 1987. 8 с.
11. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения стойкости лакокрасочных покрытий к воздействию переменных температур: ГОСТ 19720-74. Введ. 01.01.75. М.: Издательство стандартов, 1974. 6 с.
12. Podgorski L., Arnold M., Hora G. Artificial Weathering Test for Wood Coatings // *Coatings World*. 2003. P. 39–48.
13. Durability of wood and wood-based products. Field and accelerated conditioning tests (FACT) for wood preservative out of ground contact: CEN/TR 14723:2003. Publ. 22.01.2003. The British Standards Institution, 2003. 78 p.
14. Sell J., Feist W. C. U. S. and European finishes for weather exposed wood – a comparison // *Forest product journal*. 1986. Vol. 36. No. 4. P. 37–41.

15. Kropf F. W., Sell J., Feist W. C. Comparative weathering tests of North American and European exterior wood finishes // *Forest product journal*. 1994. No. 10. Vol. 44. P. 33–41.

References

1. ISO 21887:2007. Durability of wood and wood-based products. International Organization for Standardization, 2007. 6 p.
2. Ekstedt J. Studies on the barrier properties of exterior wood coatings: Doctoral thesis. Stockholm, Bygghvetenskap, 2002. 63 p.
3. GOST 31149-2014. Determination of adhesion by the method of a grid notch. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 16 p. (In Russian).
4. ISO 2409:2013. Paints and varnishes. Cross-cut test. International Organization for Standardization, 2013. 14 p.
5. GOST 33094-2014. Parts and products made of wood and wood materials. Methods for determining the thickness of transparent and opaque protective and decorative coatings. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 12 p. (In Russian).
6. GOST 6806-73. Materials for paint and varnish. Method for determining the elasticity of a film in bending. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 7 p. (In Russian).
7. ISO 1519:2011. Paints and varnishes. Bend test (cylindrical mandrel). International Organization for Standardization, 2011. 9 p.
8. GOST 16838-71. Parts and products made of wood and wood materials. Method for determining the hardness of paint and varnish coatings. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 7 p. (In Russian).
9. CEN/TR 15046:2005. Wood preservatives. Artificial weathering of treated wood. UV-radiation and water-spraying procedure. British Standards Institution, 2005. 16 p.
10. GOST 21903-76. Materials for paint and varnish. Methods for determining conventional light fastness. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1987. 8 p.
11. GOST 19720-74. Parts and products made of wood and wood materials. Method for determining the durability of paint coatings to the effect of variable temperatures. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1974. 6 p. (In Russian).
12. Podgorski L., Arnold M., Hora G. Artificial Weathering Test for Wood Coatings. *Coatings World*, 2003, pp. 39–48.
13. CEN/TR 14723:2003. Durability of wood and wood-based products. Field and accelerated conditioning tests (FACT) for wood preservative out of ground contact. British Standards Institution, 2003. 78 p.
14. Sell J., Feist W. C. U.S. and European finishes for weather exposed wood – a comparison. *Forest product journal*, 1986, vol. 36, no. 4, pp. 37–41.
15. Kropf F. W., Sell J., Feist W. C. Comparative weathering tests of North American and European exterior wood finishes. *Forest product journal*, 1994, no. 10, vol. 44, pp. 33–41.

Информация об авторах

Василевич Валерий Геннадьевич – техник-технолог 2-й категории. ПУП «Шервин-Виллиамс Бел» (223021, Минская обл., Минский р-н, Щомыслицкий с/с, 76, район д. Богатырево, офис 33, Республика Беларусь); магистрант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: valery.vasilevich@sherwin.com

Мазаник Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nata.mazanik@mail.ru

Information about the authors

Vasilevich Valeriy Gennad'yevich – technician. PUE “Sherwin-Williams Bel” (223021, Minsk region, Minsk district, Shchomyslitsky village, 76, Bogaturevo vill., office 33, Republic of Belarus); Master's degree student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: valery.vasilevich@sherwin.com

Mazanik Natallia Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nata.mazanik@mail.ru

Поступила 06.03.2018

УДК 674.061

И. К. Божелко

Белорусский государственный технологический университет

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КОМБИНИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ**

На железных дорогах до сих пор широко применяют деревянные шпалы и брусья в силу ряда их преимуществ перед другими. Помимо всего прочего, использование изделий и конструкций из древесины взамен железобетонным позволяет существенно снизить мировые выбросы CO₂. Основными проблемами производства деревянной шпалопроductии являются сложности проведения сушки толстомерного материала до предпропиточной влажности и его глубокой равномерной пропитки антисептиком. Однако наиболее острой проблемой является необходимость использования дефицитного высококачественного древесного сырья больших диаметров (свыше 26 см). В данной работе рассматриваются альтернативные решения цельной шпалы – комбинированные шпалы. Для оценки полученных конструкций были проведены расчеты модели, учитывающей анизотропию древесины, усушку, разбухание и прилагаемую нагрузку с использованием метода конечных элементов. Оценка напряженно-деформированного состояния деревянной шпалы производилась по относительным напряжениям Хилла. Выполненные расчеты показали целесообразность применения комбинированных шпал в железнодорожном хозяйстве. В подтверждение расчетным данным проведены полномасштабные испытания полученных деревянных конструкций по определению предела прочности при статическом изгибе и предела прочности клеевого соединения. Разрушающая нагрузка клееной шпалы составила 144,5 кН, составной – 142,8 кН, цельной – 135,1 кН. Среднее значение предела прочности клеевого соединения составило 5,9 МПа. Данные показатели превосходят требуемые стандартом значения.

Ключевые слова: комбинированная шпала, модель, напряженно-деформированное состояние, критерий Хилла, прочность, аутогезия.

I. K. Bozhelko

Belarusian State Technological University

**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF COMBINED WOODEN SLEEPERS**

Wooden sleepers and bars are still widely used due to a number of their advantages over others on the railways. Using of wood products and structures in place of reinforced concrete can significantly reduce the global emissions of CO₂. The main problems in the production of wooden sleepers are the difficulty of drying the thick material to pre-impregnation moisture and its deep uniform impregnation with the wood preservative. However, the most acute problem is the need to use scarce high-quality wood raw materials of large diameters (over 26 cm). In this paper, we consider alternative solutions for solid sleepers – combined sleepers. Calculations were made to evaluate the designs. The model takes into account the anisotropy of the wood, shrinkage, swelling and applied load using the finite element method. The stress-strain state of the wooden sleepers was estimated from the relative strains of Hill. The performed calculations showed the purposeful application of combined sleepers in the railway industry. In confirmation of the calculated data, full-scale tests of the obtained wooden structures were made. They determined the ultimate strength at static bending and the strength of the adhesive joint. The breaking load of the glued sleepers was 144.5 kN, the composite – 142.8 kN, the whole – 135.1 kN. The average value of the strength of the adhesive bond was 5.9 MPa. These figures are higher than the required values.

Key words: combined sleeper, model, stress-strain state, Hill's criterion, strength, autohesion.

Введение. Широкое использование изделий и конструкций из древесины снижает «парниковый эффект» и благотворно влияет на экологию на Земле. По подсчетам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН хранение углерода деревянными изделиями фактически компенсирует все выбросы парниковых газов, связанных с их производством. Ученые из Йельской школы лесного хозяйства и экологических исследований и Университета Вашинг-

тонского Колледжа окружающей среды подсчитали, что использование большего количества дерева и меньшего – стали и бетона в строительстве позволяет существенно сократить глобальные выбросы углекислого газа и потребление ископаемого топлива [1]. Так 14–31% мировых выбросов CO₂ можно избежать путем предотвращения выбросов, связанных со сталью и бетоном; путем сохранения CO₂ в целлюлозе и лигнине в деревянных изделиях и конструкциях,

а 12–19% годового мирового потребления ископаемого топлива может быть сэкономлено путем использования отходов древесины.

Все это является неоспоримым преимуществом производства и использования конструкций и изделий из древесины, в том числе и деревянной шпалопродукции, перед железобетонными [2].

Основная часть. Деревянные шпалы изготавливаются по ГОСТ 78–2014 [3]:

шпала 1-го типа, пропитанная – используется для главных путей;

шпала 2-го типа, пропитанная – используется для подъездных и станционных путей.

Шпалы из дерева подразделяются на три вида:

– обрезные (отесанные со всех четырех сторон);

– полуобрезные (отесанные только с трех сторон);

– необрезные (отесанные только сверху и снизу).

Наибольшее распространение и применение на сегодняшний день получили обрезные шпалы 2-го типа.

Порода древесины для шпал может быть разная. В европейских странах предпочитают бук и дуб. В Республике Беларусь и Российской Федерации наибольшее распространение получила древесина хвойных пород, преимущественно сосна. Такие шпалы более подвержены механическому износу, но имеют значительно меньшую стоимость.

Для предотвращения преждевременного гниения обязательно проводят пропитку шпал [4, 5, 6]. На данный момент разработаны и используются экологически безопасные способы автоклавной обработки древесины, эксплуатируемой в тяжелых условиях в контакте с водой и почвой [7, 8].

Основными проблемами производства деревянной шпалопродукции являются:

1. Сложность проведения сушки толстомерного материала до предпропиточной влажности. В настоящее время используется исключительно атмосферная сушка на открытых площадках, характеризующаяся большой длительностью, сезонностью, а также большими потерями древесины от растрескивания (особенно торцов шпал), «замораживанием» оборотных средств в зимний период [9].

2. Сложность осуществления глубокой и равномерной пропитки антисептиком. Ситуация существенно улучшается путем применения специального наколочного оборудования [10]. Однако даже в этом случае не достигается сквозной пропитки древесины.

3. Необходимость использования высококачественного древесного сырья больших диаметров (свыше 26 см). Особенно остро пробле-

ма нехватки такого сырья стоит ввиду сокращения сырьевой базы высокосортного леса в возрасте 80–100 лет.

В связи с дефицитом крупномерной древесины объемы производства цельных шпал из года в год сокращаются, а их стоимость постоянно увеличивается. Возможным решением проблемы дефицита толстомерного сырья, необходимого для производства цельных деревянных шпал, может стать производство составных деревянных шпал [11–13].

В данной работе рассматриваются альтернативные решения цельной шпалы – комбинированные шпалы. В первом случае шпала представляет конструкцию в виде трех брусков, склеенных между собой резорциновым клеем ФРФ-50 в вертикальной плоскости (рис. 1).



Рис. 1. Комбинированная клееная шпала

Использованные режимы склеивания представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры склеивания шпалы с использованием клея ФРФ-50

Показатель	Значение
Порода древесины	Сосна
Вязкость клея по ВЗ-4, с	65
Расход клея, г/м ²	200
Время открытой выдержки, мин	7
Давление склеивания, МПа	0,4
Продолжительность закрытой выдержки под давлением, ч	10
Температура склеивания, °С	20 ± 2

Во втором случае комбинированная шпала собрана из двух цельных деревянных брусков, соединенных между собой в горизонтальной плоскости болтами (рис. 2).

Для оценки полученных конструкций была получена модель, учитывающая анизотропию древесины, усушку и разбухание с использованием метода конечных элементов [14–17].

Оценка напряженно-деформированного состояния деревянной шпалы производилась по относительным напряжениям Хилла. Использование критерия прочности Хилла позволяет четко отслеживать эволюцию разрушения шпалы в зависимости от прогиба по полю пластических деформаций (рис. 3).



Рис. 2. Комбинированная сборная шпала

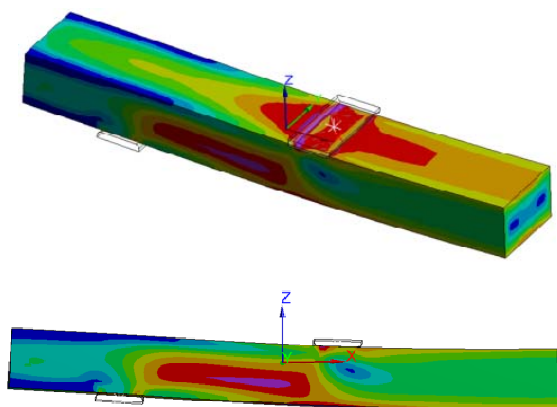


Рис. 3. Напряженное состояние шпалы по критерию Хилла в момент разрушения при статическом четырехточечном изгибе

На рисунке хорошо видна область больших напряжений в зоне смятия (под подкладкой). Кроме того, отчетливо видна область возникновения сдвиговой трещины в срединной плоскости шпалы (на рис. 4).

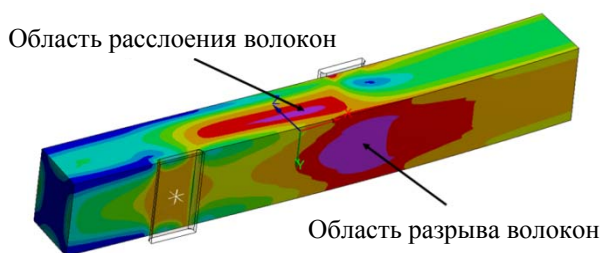


Рис. 4. Локализация зон разрушения в шпале

Моделирование показывает, что разрушение шпалы при 4-точечном изгибе (основное требование для деревянных шпал в соответствии с ГОСТ 28469-90 [18]) сопровождается разрывом волокон в зоне растяжения (под давящей пластиной, см. рис. 4) и расслоением волокон срединной области шпалы.

Выполненный расчет напряженного деформированного состояния клееной и составной шпал при различных влажностных перепадах и нагрузках показал возможность их использования в реальных путевых условиях.

Целесообразность полученных деревянных конструкций также подтверждена полномасштабными испытаниями. Для этого были проведены испытания по определению предела прочности при статическом изгибе цельной, составной и клееной шпал 2-го типа в соответствии с ГОСТ 28469-90.

Испытание шпал на статический изгиб проводили до пропитки. Время от момента производства клееных шпал и до начала их испытательного состава было более 10 сут, в течение которых они хранились при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(65 \pm 5)\%$. Испытаниям были подвергнуты по три шпалы каждого типа из одной партии. Схема приложения нагрузки приведена на рис. 5.

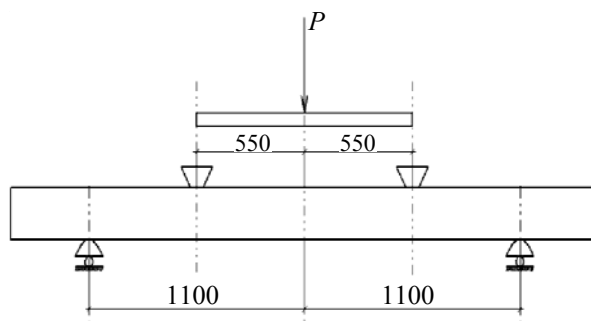


Рис. 5. Схема приложения нагрузки

Нагрузка была приложена на пласт шпалы так, чтобы ее направление было параллельно пластам слоев. В местах приложения нагрузки, а также на опорах были уложены стальные подкладки размерами $290 \times 160 \times 10$ мм. Во избежание перерезания волокон края подкладок, обращенные к древесине, были закруглены. Скорость нагружения обеспечивала достижение максимальной нагрузки 120 кН в течение 120 с. Контрольную нагрузку поддерживали постоянной в течение 10 мин. В соответствии с ГОСТ 28469-90 шпалы считаются выдержавшими испытание на статический изгиб, если они выдерживают контрольную нагрузку 120 кН без образования новых трещин и увеличения размеров отмеченных трещин и несклеенных участков.

Таблица 2

Результаты испытаний деревянных шпал на статический изгиб

Образец	Фактические размеры сечения, мм	Влажность, %	Нагрузка, кН	Модуль упругости, ГПа	Максимальная нагрузка, кН
Цельная шпала	230×161	20,7	22,0	10,4	135,1
Составная шпала	226×157	20,0	22,0	11,3	142,8
Клееная шпала	240×163	20,5	22,0	13,2	144,5

Все образцы шпал выдержали испытание. После этого испытания определялась разрушающая нагрузка при статическом изгибе для каждого типа шпал. Полученные физико-механические показатели представлены в табл. 2. Наибольшие нагрузки в 144,5 и 142,8 кН потребовались для разрушения клееных и составных шпал соответственно. Для цельных шпал она составила 135,1 кН. Характер разрушения шпал представлен на рис. 6–8.



Рис. 6. Разрушение цельной шпалы



Рис. 7. Разрушение составной шпалы

Потери несущих способностей образцов цельной и составной шпал произошли вследствие разрыва поперек волокон и раскалывания вдоль волокон древесины в зоне чистого изгиба. Образец клееной шпалы разрушился по сучку крайнего слоя в зоне чистого изгиба.

Таким образом, при сравнении рис. 3, 4 и 5, 6, 7 видно, что зоны разрушения шпал, определенные с помощью моделирования, полностью согласуются с данными натурных испытаний.

Помимо определения предела прочности при статическом изгибе для образцов клееных шпал были проведены испытания по определению предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон древесины в соответствии с ГОСТ 33120-2014 [19].



Рис. 8. Разрушение клееной шпалы

Сущность метода заключается в приложении усилия к единичному клеевому соединению при продольном сжатии (параллельно волокнам древесины). Форма и размеры образцов для испытаний показаны на рис. 9.

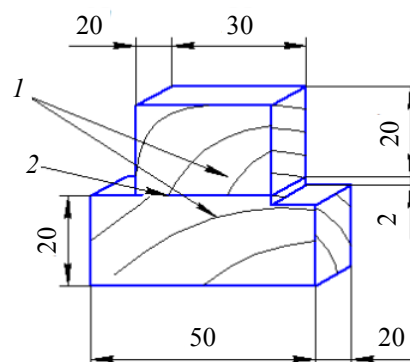


Рис. 9. Образец для определения прочности клеевых соединений:
1 – деревянные ламели; 2 – клеевой шов

Таблица 3

Результаты испытаний по определению предела прочности клевого соединения при скалывании вдоль волокон деревянных клееных шпал

Среднее значение влажности образцов, %	Расход клея, г/м ²	Площадь разрыва S , мм ²	Среднее значение разрушающей нагрузки P , кН	Среднее значение предела прочности клевого соединения σ , МПа
20	200	600	3540	5,9

Приспособление с установленным в нем образцом помещали на опорную платформу испытательной машины таким образом, чтобы ось пуансона приспособления совпадала с осью нагружающего устройства испытательной машины. Образцы нагружали непрерывно при скорости перемещения нагружающей головки испытательной машины 0,60 мм/мин. Испытание продолжали до разрушения образца. Разрушающую нагрузку определяли с погрешностью не более 50 Н.



Рис. 10. Характер разрушения образцов

Предел прочности клевого соединения (σ) выражали в паскалях и вычисляли по формуле с точностью до 0,1 МПа:

$$\sigma = \frac{P}{S},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; S – площадь склеивания, м², вычисляемая с точностью до 0,000001.

По результатам испытаний вычисляли среднее арифметическое значение разрушающего напряжения (σ) в паскалях. При этом фиксировали также характер разрушения клевого соединения. Результаты испытаний представлены в табл. 3. Среднее значение предела прочности клевого соединения составило 5,9 МПа, что на 34,1% больше показателя, требуемого стандартом. Разрушения образцов носят аутогезионный характер и представлены на рис. 5.

Заключение. Проведены исследования новых конструкций полноразмерных деревянных шпал, полученных из нескольких элементов путем их склеивания или соединения болтами. Расчет напряженно-деформированного состояния предложенных комбинированных шпал показал целесообразность их применения в железнодорожном хозяйстве. В подтверждение расчетных данных проведены полномасштабные испытания полученных деревянных конструкций. Разрушающая нагрузка при 4-точечном прогибе клееной шпалы составила 144,5 кН, составной – 142,8 кН, цельной – 135,1 кН. Среднее значение предела прочности клевого соединения составило 5,9 МПа, что на 1,5 МПа больше стандартного.

Использование комбинированных деревянных шпал позволяет существенно минимизировать диаметры раскаиваемых бревен, тем самым способствует более рациональному использованию лесных ресурсов.

Литература

1. Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests / Oliver C. D. [et al.] // Journal of Sustainable Forestry. 2014. No. 33 (3). P. 329–331. DOI: 248.
2. Состояние вопроса производства и эксплуатации железнодорожных шпал из различных материалов / Курьянова Т. К. [и др.] // Лесотехнический журнал. Деревообработка. Химические технологии. 2017. Вып. 4. С. 157–166.
3. Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Общие технические условия: ГОСТ 78-2014. Минск: Госстандарт, 2016. 14 с.
4. Технологические процессы пропитки древесины на шпалопрпиточных заводах. М.: МПС СССР, 1988. 48 с.
5. Защита древесины. Автоклавная пропитка маслянистыми защитными средствами: ГОСТ 20022.5-93. Введ. 01.01.1995. М.: Изд-во стандартов, 2001. 5 с.
6. Защита древесины. Параметры защищенности: ГОСТ 20022.0-93. Минск: Изд-во стандартов, 2002. 42 с.

7. Божелко И. К., Снопков В. Б. Технология пропитки шпал водорастворимым антисептиком Tanalith E 3492 // Труды БГТУ. Сер. II, Лесн. и деревообаб. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 189–192.
8. Божелко И. К., Снопков В. Б. Технология низкотемпературной пропитки шпалопродукции // Труды БГТУ. Сер. II, Лесн. и деревообаб. пром-сть. 2011. Вып. XIX. С. 204–207.
9. Донченко Л. Ф. Сокращение технологического запаса шпал на складе атмосферной сушки Борисовского ШПЗ // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2004. Вып. XII С. 213–217.
10. Божелко И. К., Снопков В. Б. Влияние накальвания древесины на качество пропитки // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2014. Вып. XXII. С. 118–121.
11. Деревянная шпала: пат. 2400587 RU, МПК E 01 B 3/10, B 27 M 3/14 / В. А. Шамаев, И. Н. Медведев, В. С. Овчинников, В. А. Кондратюк; заявитель ООО «Лигнум», ФГУП «Государственный научный центр лесопромышленного комплекса»; заявл. 21.07.2009; опубл. 27.09.2010. Бюл. № 27.
12. Деревометаллическая шпала: пат. 2262564 RU, МПК E 01 B 3/10, B 27 M 3/14 / Л. А. Занегин; заявитель ОАО «Иркутский научно-исследовательский институт лесной промышленности»; заявл. 06.04.2004; опубл. 20.10.2005. Бюл. № 29.
13. Составная шпала: пат. 2256020 RU, МПК E 01 B 3/10, B 27 M 3/14 / Л. А. Занегин; заявитель ОАО «Иркутский научно-исследовательский институт лесной промышленности»; заявл. 08.01.2004; опубл. 10.07.2005. Бюл. № 19.
14. Божелко И. К. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния деревянных конструкций и изделий в процессе эксплуатации // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Випуск 155. С. 116–119.
15. Moses D. M., Prion H. G. L. Anisotropic Plasticity and the Notched Wood Shear Block // Forest Prod J. 2002. No. 52. P. 43–54.
16. Moses D. M., Prion H. G. L. A Three-Dimensional Model for Bolted Connections in Wood // Can J Civil. 2003. No. 30. P. 555–567.
17. Moses D. M., Prion H. G. L. Stress and Failure Analysis of Wood Composites: A New Model // Compos Part B-Eng. 2004. No. 35. P. 251–261.
18. Шпалы и брусья деревянные клееные для трамвайных путей. Технические условия: ГОСТ 28469-90. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
19. Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений: ГОСТ 33120-2014. М.: Стандартинформ, 2015. 18 с.

References

1. Oliver C. D., Nassar N. T., Lippke B. R., McCarter J. B. Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests. *Journal of Sustainable Forestry*, 2014, no. 33 (3), pp. 329–331. DOI: 248.
2. Kuryanova T. K., Platonov A. D., Mikheevskaya M. A., Parinov D. A., Safonov A. O., Mozgovoy N. V., Pervakova Ye. A. Condition of production and operation of railway sleepers from various materials. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal. Derevoobrabotka. Khimichskie tekhnologii* [Forestry Journal. Woodworking. Chemical Technology], 2017, no. 2, pp. 157–166 (In Russian).
3. GOST 78-2014. Wooden sleepers for full gauge railways. Specifications. Minsk, Gosstandart Publ., 2016. 9 p. (In Russian).
4. *Tekhnologicheskie protsessy propitki drevesiny na shpalopropitochnykh zavodakh* [Technological processes of impregnation of wood in sleeper impregnated factories]. Moscow, MPS SSSR Publ., 1988. 48 p.
5. GOST 78-2014. Wooden sleepers for full gauge railways. Specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2001. 5 p. (In Russian).
6. GOST 20022.0-93. Protection of wood. Security Settings. Minsk, Izdatel'stvo standartov Publ., 2002. 42 p. (In Russian).
7. Bozhelko I. K., Snopkov V. B. Technology of impregnating sleepers with a water-soluble antiseptic Tanalith E 3492. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2007, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 189–192 (In Russian).
8. Bozhelko I. K., Snopkov V. B. Technology of low-temperature impregnation of sleepers. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 204–207 (In Russian).
9. Donchenko L. F. Reduction of the technological supply of sleepers in the atmospheric drying warehouse of Borisov SHPZ. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2004, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 213–217 (In Russian).
10. Bozhelko I. K., Snopkov V. B. Influence incising of wood on quality of treatment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 118–121 (In Russian).
11. Shamaev V. A., Medvedev I. N., Ovchinnikov V. S., Kondratyuk V. A. *Derevyannaya shpala* [Wood sleepers]. Patent RU, no. 2400587, 2010.

12. Zaneġin L. A. *Derevometallicheskaya shpala* [Woodmetallic sleepers]. Patent RU, no. 2262564, 2005.
13. Zaneġin L. A. *Sostavnaya shpala* [Composite sleepers]. Patent RU, no. 2256020, 2005.
14. Bozhelko I. K. Forecasting of strained-deformed condition of wooden constructions and products during operation. *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo spodarstva imeni Petra Vasilenka* [Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko], 2014, no. 155, pp. 116–119.
15. Moses D. M., Prion H. G. L. Anisotropic Plasticity and the Notched Wood Shear Block. *Forest Prod J*, 2002, no. 52, pp. 43–54.
16. Moses D. M., Prion H. G. L. A Three-Dimensional Model for Bolted Connections in Wood. *Can J Civil Eng*, 2003, no. 30, pp. 555–567.
17. Moses D. M., Prion H. G. L. Stress and Failure Analysis of Wood Composites: A New Model. *Compos Part B-Eng*, 2004, no. 35, pp. 251–261.
18. GOST 28469-90. Ties and beams are wooden glued for tram ways. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2006, 7 p. (In Russian).
19. GOST 33120-2014. Wooden glued constructions. Methods for determining the strength of adhesive joints. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 18 p. (In Russian).

Информация об авторе

Божелко Игорь Константинович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bkbstu@mail.ru

Information about the author

Bozhelko Igor' Konstantinovich – PhD (Engineering), Head of the Department of Woodworking Technology (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bkbstu@mail.ru

Поступила 12.03.2018

УДК 674-419.32

И. И. Веретиков

Белорусский государственный технологический университет

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Произведены опытные исследования по влиянию температурных факторов на значения предела прочности при скалывании образцов фанеры различных марок, а также сквозное прозвучивание образцов фанеры до и после температурного воздействия на произвольной базе с контактной смазкой при помощи измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2». Проведен анализ полученных данных, построена и проанализирована графическая зависимость, сделаны выводы о влиянии температурных факторов на прочностные значения клееных материалов и актуальность использования метода неразрушающего контроля.

Среди прочностных характеристик клеевых соединений для исследования выбран предел прочности на скалывание. Испытания проводились согласно ГОСТ 9624-93. По результатам выполненной работы установлено, что температурное воздействие образцов фанеры марок ФК и ФСФ приводит к снижению предела прочности при скалывании. Причем данный показатель ниже у фанеры марки ФК. Также в результате расчета (по заданным коэффициентам полинома, связывающим прочность со скоростью ультразвука) установлена функциональная связь между методами разрушающего и неразрушающего контроля качества фанерной продукции.

Ключевые слова: клеевое соединение, фанера, неразрушающий контроль, прочность, прозвучивание образцов, коэффициент корреляции.

I. I. Veretikov

Belarusian State Technological University

**THE APPLICATION NON-DESTRUCTIVE TESTING METHOD
OF THE INFLUENCE OF THERMAL EFFECTS
ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF PLYWOOD PRODUCTS**

Produced a pilot study on the effect of temperature on factors of the limit values L_a of tensile shear specimens of plywood of various brands, as well as end-to-end testing of plywood samples before and after temperature effect on an arbitrary basis with the contact lubricant with time meter and the speed of ultrasound Pulsar-2. The analysis of the obtained data, constructed and analyzed the graphical dependence of the findings on the impact of temperature factors on the strength values of laminated materials and the relevance of the use of non-destructive testing method.

Among the strength characteristics of adhesive joints were selected for the study the ultimate strength of the shear. The tests were carried out according to GOST 9624-93. According to the results of work performed established that the temperature effect of samples of brands of urea-formaldehyde plywood and phenol-formaldehyde plywood leads to a decrease in tensile strength for shearing. And this shows that below the plywood of mark. Also, the result of the calculation (for given coefficients of polynoma linking strength with speed of ultrasound) the functional relation between the methods of destructive and nondestructive quality control of plywood products.

Key words: adhesive bonding plywood, non-destructive testing, durability, testing of samples, correlation coefficient.

Введение. Конструкции из фанеры, клеенные синтетическими фенолформальдегидными и карбамидными клеями, применяют для покрытий производственных зданий, складов, ангаров, театральные, выставочных и спортивных сооружений. Фанеру на карбамидных клеях используют для встроенной мебели и отделки интерьера.

Преимущества фанеры перед пиломатериалами следующие: имеет почти равную прочность во всех направлениях; мало коробится и растрескивается; легко гнется и удобна для перевозки [14].

Фанеру используют в строительстве как материал для обшивки каркасов ограждающих конструкций, в сборно-разборных зданиях, для опалубки, изготовления несущих конструкций, однако при эксплуатации фанера может подвергаться атмосферным и температурным воздействиям [3].

Водостойкость и атмосферостойкость – это основные показатели, определяющие эксплуатационные характеристики клееной древесины [11]. Повышенная влажность ускоряет процессы старения, которые обусловлены нарушени-

ем структуры и строения макромолекул связующего вещества [17]. Особенно это важно для карбамидо-формальдегидных смол, отличительной особенностью которых является повышенная чувствительность к воздействию влаги [8].

Наряду с этим немаловажную роль в определении долговечности клееной древесины играет определение термостойкости либо теплостойкости клея и древесины. В связи с этим различают теплостойкость – сохранение механических свойств и термостойкость – сохранение структуры и химического состава полимера при нагревании [3]. К примеру, фенолформальдегидные клея отличаются высокой тепло- и термостойкостью, карбамидные – малой термостойкостью.

Для оценки качественных характеристик продукции наряду со стандартными широкое применение получили неразрушающие методы контроля, не требующие разрушения готовых изделий, позволяющие избежать больших потерь времени и материальных затрат, обеспечить частичную или полную автоматизацию операций контроля при одновременном значительном повышении качества и надежности изделий [1].

Неразрушающие методы контроля (НМК), или дефектоскопия, – это обобщающее название методов контроля материалов, используемых для обнаружения нарушения сплошности или однородности макроструктуры не требующих разрушения образцов в целом [2].

Поэтому целью настоящей работы является определение влияния температурного воздействия на прочностные качества клееной древесины, изучение неразрушающего метода контроля качества и установление корреляционной зависимости между данными методами.

Основная часть. Среди прочностных характеристик клеевого соединения для исследования был выбран предел прочности на скалывание. Для определения предела прочности при скалывании согласно ГОСТ 9624 изготавливали образцы фанеры марок ФК и ФСФ [10]. Их отбор и подготовку к испытаниям осуществляли согласно ГОСТ 9620 [9]. Форма и размеры образцов представлены на рис. 1.

Оценка прочностных характеристик клеевого соединения проводилась на образцах фанеры до и после нагревания согласно ГОСТ 9624 и при помощи метода неразрушающего контроля. Нагревание образцов фанеры марки ФК и ФСФ производили партиями в количестве 10 шт. в течение 3 ч при температуре 40, 60, 80 и 100°С.

Оценку методом неразрушающего контроля проводили при сквозном прозвучивании образ-

цов фанеры до и после нагревания с датчиками сквозного прозвучивания на произвольной базе с контактной смазкой. Регистрацию данных времени и скорости распространения ультразвука, получали на приборе «Пульсар-2», который предназначен для дефектоскопии твердых материалов

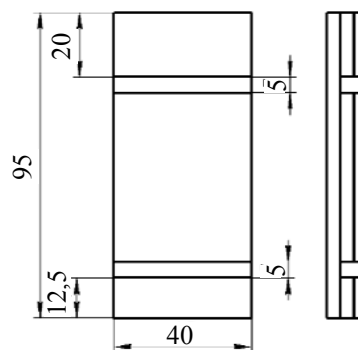


Рис. 1. Форма и размеры образцов фанеры

Расчет прочности образцов после прозвучивания производился по формуле

$$R = A_0 + A_1 \cdot V + A_2 \cdot V^2 + A_3 \cdot V^3, \quad (1)$$

где R – прочность, МПа; V – числовое значение скорости ультразвука, м/с; A_i – коэффициенты, заносимые в прибор в экспоненциальной форме, МПа.



Рис. 2. Измеритель времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2»

Также была определена влажность контрольных образцов сушильно-весовым способом. Данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влажность контрольных образцов

Вид	m	m_0	Абсолютная влажность W , %	
			Опытная	Среднее значение
1ФК	7,810	7,300	6,91	6,64
2ФК	7,840	7,370	6,38	
3ФСФ	9,925	9,250	7,30	7,36
4ФСФ	9,400	8,750	7,43	

Предел прочности при скалывании по клеевому слою $\tau_{ск}$ и по древесине $\tau_{др}$ вычисляли (в МПа) по формулам:

$$\tau_{ск} = \frac{P_{max}}{b \cdot l_1}; \quad (2)$$

$$\tau_{ск} = \frac{P_{max}}{b \cdot l_2}; \quad (3)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, Н; b – ширина плоскости скалывания, мм; l_1 и l_2 – длина плоскости скалывания.

За результат испытаний каждой серии образцов фанеры принимали среднее арифметическое показателей предела прочности, при скалывании образцов фанеры марок ФК и ФСФ до и после температурного воздействия. Также фиксировали изменение массы и формы нагреваемых образцов. Полученные данные отражены в табл. 2.

Расчетная формула для определения скорости распространения ультразвука, м/с:

$$V = \frac{l}{t} \cdot 10^3, \quad (4)$$

где l – расстояние между центрами зон установки преобразователей, мм; t – время распространения ультразвука, мкс.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов

Температура нагревания, °С	Предел прочности при скалывании, МПа	
	Фанера марки ФК	Фанера марки ФСФ
20	1,85	2,88
40	1,45	1,72
60	1,32	1,58
80	1,36	1,69
100	1,38	1,80

Сквозное прозвучивание образцов методом неразрушающего контроля было произведено на образцах фанеры марки ФК и ФСФ до и после нагревания. Предварительно, перед прозвучиванием, были замерены толщины образцов с целью определения расстояния между центрами рабочих поверхностей ультразвуковых преобразователей (излучателя и приемника), так называемой базы прозвучивания и последующего ввода полученных значений в прибор. Данные отражены в табл. 3.

Исследование образцов осуществлялось на серии в количестве 20 шт. каждой марки фанеры до и после нагревания с использованием датчиков сквозного прозвучивания на произвольной

базе с использованием специальной контактной смазки. Следует отметить, что формирование полученного результата происходит по автоматически выполняемой серии 6–10 измерений [7]. Таким образом, были зафиксированы скорость и время распространения ультразвука.

Таблица 3

Результаты испытаний после прозвучивания

Скорость распространения ультразвука, м/с	Время распространения звука, мкс	Толщина образца, мм
Результаты до нагревания образцов (марки фанеры ФК и ФСФ)		
406	9,85	4
Результаты после нагревания образцов при температуре 40°С (марки фанеры ФК и ФСФ)		
406	9,85	4
Результаты после нагревания образцов при температуре 60°С (марки фанеры ФК и ФСФ)		
406	9,85	4
Результаты после нагревания образцов при температуре 80°С (марки фанеры ФК и ФСФ)		
406	9,85	4
Результаты после нагревания образцов при температуре 100°С (марки фанеры ФК и ФСФ)		
406	9,85	4
Промежуточные значения		
507	9,85	5
304	9,85	3

После получения данных скорости распространения ультразвука и коэффициентов в экспоненциальной форме при использовании метода неразрушающего контроля был произведен расчет прочностных характеристик образцов по формуле (1). Также по полученным расчетным значениям построена графическая зависимость, представленная на рис. 3.

Для оценки тесноты и взаимосвязи между значениями предела прочности при скалывании образцов фанеры до и после нагревания и полученными данными скорости ультразвука при прозвучивании образцов были рассчитаны коэффициенты корреляции по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - x_{cp}) \cdot (y_i - y_{cp})}{\sqrt{\sum (x_i - x_{cp})^2 \cdot \sum (y_i - y_{cp})^2}}, \quad (5)$$

где x_i – значения переменной x ; y_i – значения переменной y ; x_{cp} – среднее арифметическое для переменной x ; y_{cp} – среднее арифметическое значение для переменной y .

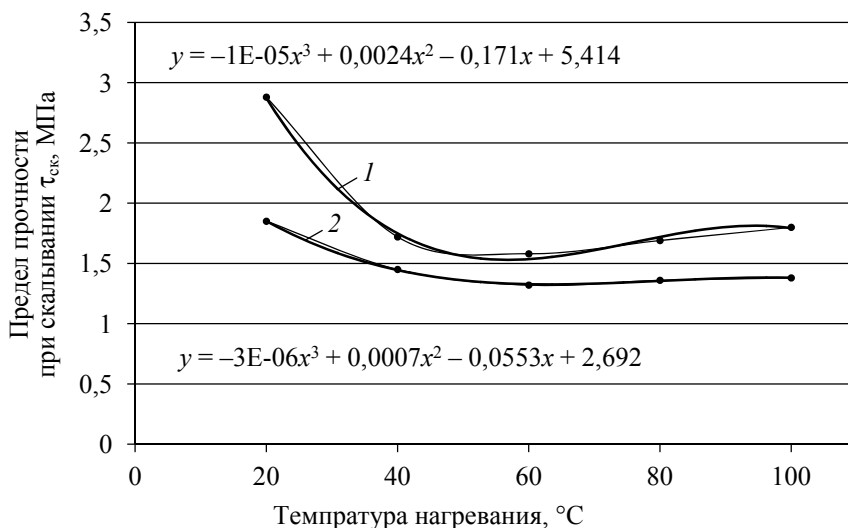


Рис. 3. График зависимости предела прочности от температуры нагрева: 1 – марка фанеры ФСФ; 2 – марка фанеры ФК

Коэффициент корреляции – безразмерная величина, которая может принимать как положительные, так и отрицательные значения, но по абсолютной величине всегда меньше 1 [16].

Результат расчета показал, что по абсолютной величине коэффициент корреляции равен 0,94. Считается, если коэффициент корреляции находится в диапазоне от 0,75 до 0,95, то это характеризует сильную связь [16].

Заключение. Таким образом, при длительном нагревании в диапазоне возможных в эксплуатации температур (50–100°C) прочность соединений снижается либо из-за термодеструкции клеев (карбамидные), либо из-за термического ослабления древесины (фенольные клея).

В результате проведенных исследований выявлено, что нагревание образцов фанеры марки ФК и ФСФ путем выдерживания при температуре 40, 60, 80 и 100°C в течение 3 ч отразилось на уменьшении их предела прочности при скалывании путем разрушающего контроля. При этом для образцов фанеры марки ФК снижение показателей отмечается в наибольшей степени, на 28,64%; для образцов фанеры марки ФСФ – снижение на 45,1%. Следует отметить, что первоначальные значения предела прочности при скалывании образцов фанеры ФСФ выше на 55,67% по сравнению с аналогичными испытаниями образцов фанеры марки ФК.

При изучении неразрушающего контроля образцов, т. е. их прозвучивания с использованием прибора для регистрации скорости и времени распространения ультразвука, было отмечено, что характер изменения распространения скорости ультразвука остается постоянным. Это характеризуется постоянным значением измеряемой базы прозвучивания.

Однако данный способ неразрушающего контроля имеет смысл при данном типе воздействия на образцы клеевых соединений, так как по полученным зависимостям с коэффициентами уравнений в дальнейшем возможно получение значений прочности образцов в зависимости от скорости распространения ультразвука.

В свою очередь, установление взаимосвязи между данными методами контроля, а именно полученная величина коэффициента корреляции, подтверждает функциональную взаимосвязь и является основой научного подхода к изучению влияния различных эксплуатационных факторов на прочностные показатели фанеры.

Следует отметить, что термообработка испытуемых образцов не должна сопровождаться сильным изменением их влажности. В противном случае возникающие в фанере влажностные внутренние напряжения будут искажать результат испытания.

Литература

1. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: СТО 36554501-009-2007. М.: Научно-исследовательский центр «Строительство», 2007. 13 с.
2. Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля. Владивосток: ДВГТУ, 2007. 243 с.
3. Хрулев В. М. Долговечность клееной древесины. М.: Лесная промышленность, 1971. 160 с.

4. Бербеков Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона // Молодой ученый. 2012. № 11. С. 20–23.
5. Савицкий С. С. Методы и средства неразрушающего контроля. Минск: БНТУ, 2012. 183 с.
6. Кашубский Н. В., Сельский А. А., Смолин А. Ю. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 108 с.
7. Ефимов В. А., Петрова А. П., Аниховская Л. И. Ускоренные испытания клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 7. 12 с.
8. Винокуров А. А., Докторов И. А., Лавров М. Ф. Влияние отрицательной температуры и влаги на прочность цельной и клееной древесины // ВЕСТНИК ЯГУ. 2006. Т. 3. № 3. С. 71–77.
9. Древесина слоистая клееная. Отбор образцов и общие требования при испытании: ГОСТ 9620-94. Введ. 01.01.96. М.: Издательство стандартов, 1995. 8 с.
10. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании: ГОСТ 9624-93 Введ. 01.01.95. М.: Издательство стандартов, 1994. 10 с.
11. Иванов Ю. М., Лепарский Л. О., Сенчило Ю. Я. Прочность и напряжения клеевых соединений древесины. М.: Лесная промышленность, 1973. 160 с.
12. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве. СПб.: ГУАП, 2007. 137 с.
13. Рындин В. О. Исследование старения древесных композитов под воздействием различных эксплуатационных факторов // Сборник авторефератов магистров ТГТУ. 2006. № 7. С. 21–34.
14. Хрулев В. М. Испытание фанеры. М.: Гослесбумиздат, 1960. 72 с.
15. Кириллов А. Н. Конструкционная фанера. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 112 с.
16. Федосенко И. Г. Основы научных исследований и инновационная деятельность. Минск: БГТУ, 2016. 97 с.
17. Веретиков И. И. Влияние температурно-влажностных воздействий на прочностные показатели клеевых соединений // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 170–173.

References

1. STO 36554501-009-2007. Concrete. The ultrasonic method for determining the strength. Moscow, NITS “Stroitel’stvo”, 2007. 13 p. (In Russian).
2. Kanyevskiy I. N. *Nerazrushayushchie metody kontrolya* [Non-destructive testing methods]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2007. 243 p.
3. Khrulev V. M. *Dolgovechnost’ kleenoy drevesiny* [The durability of laminated wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1971. 160 p.
4. Berbekov Zh. V. Non-destructive methods for controlling the strength of concrete. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2012, no. 11, pp. 20–23 (In Russian).
5. Savitskiy S. S. *Metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya* [Methods and means of non-destructive testing]. Minsk, BNTU Publ., 2012. 183 p.
6. Kashubskiy N. V., Sel’skiy A. A., Smolin A. Y. *Nerazrushayushchie metody kontrolya materialov i izdeliy* [Non-destructive methods of control of materials and products]. Krasnoyarsk, IPK SFU Publ., 2009. 108 p.
7. Yefimov V. A., Petrova A. P., Anikhovskaya L. I. Accelerated tests of adhesive joints. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technologies], 2005, no. 7, pp. 1–12 (In Russian).
8. Vinokurov A. A., Doktorov I. A., Lavrov M. F. Effect of negative temperature and moisture on the strength of solid and glued wood. *Vestnik YAGU* [Bulletin of YAGU], 2006, vol. 3, no. 3, pp. 71–77 (In Russian).
9. GOST 9620-94. Wood laminated glued. Sampling and general requirements for testing. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1995. 8 p. (In Russian).
10. GOST 9624-93. Wood laminated glued. Method for determining the breaking strength. Moscow, Izdatel’stvo standartov Publ., 1994. 10 p. (In Russian).
11. Ivanov Yu. M., Leparskiy L. O., Senchilo Yu. Ya. *Prochnost’ i napryazheniya kleevykh soedineniy drevesiny* [Strength and stresses of glued wood joints]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1973. 160 p.
12. Sudarikova Ye. V. *Nerazrushayushchiy kontrol’ v proizvodstve* [Non-destructive testing in production]. St. Petersburg, GUAP Publ, 2007. 137 p.
13. Ryndin V. O. Study of the aging of wood composites under the influence of various operational factors. *Sbornik avtoreferatov magistrov TGTU* [Collection of Master’s Abstracts of TGTU], 2006, no. 7, pp. 21–34 (In Russian).
14. Khrulev V. M. *Ispytanie fanery* [Plywood tests]. Moscow, Goslesbum Publ., 1960. 72 p.

15. Kirilov A. N. *Konstruksionnaya fanera* [Construction plywood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 112 p.

16. Fedosenko I. G. *Osnovy nauchnykh issledovaniy i innovatsionnaya deyatel'nost'* [Fundamentals of scientific research and innovation activities]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 97 p.

17. Veretikov I. I. Effects of temperature and moisture actions on strength factors of adhesive joints. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 170–173 (In Russian).

Информация об авторе

Веретиков Игорь Иванович – магистр технических наук, ассистент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: veretikov_i_i@belstu.by

Information about the author

Veretikov Igor' Ivanovich – Master of Engineering, assistant lecturer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: veretikov_i_i@belstu.by

Поступила 20.04.2018

УДК 53.083.2

И. Г. Федосенко, Е. В. Чесновский

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА
СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПОСТРОЕК**

В статье описывается методика определения физико-механических свойств деградированной археологической древесины и элементов древесины исторических построек неразрушающим методом ультразвуковой диагностики без разборки постройки.

Рассматриваются средства измерений и вспомогательные устройства, рекомендации по предварительной подготовке области в месте проведения измерений, проведению измерений необходимых параметров и непосредственное определение физико-механических параметров археологической древесины.

Приведены формулы для оценки степени разрушенности структуры деревянного элемента конструкции. Предложена классификация древесины сосны по степени деградации в зависимости от плотности и трещиноватости (пористости).

Установление степени разрушенности структуры деревянного элемента и класса деградации исторических построек позволит планировать мероприятия по консолидации материала, укреплению конструкции или замене утратившего несущую способность элемента.

Ключевые слова: древесина, ультразвук, влажность, плотность, скорость, прочность, модуль упругости, классификация, постройка, пористость.

I. G. Fedosenko, E. V. Chesnovskiy

Belarusian State Technological Univesity

**METHODOLOGY OF OPERATIONAL ANALYSIS
OF WOODEN CONSTRUCTION CONDITION**

The article describes the technique for determining the physical and mechanical properties of degraded archaeological wood and wood elements of historic buildings, a non-destructive method of ultrasonic diagnostics without disassembling the building.

Measuring tools and auxiliary devices, recommendations for preliminary preparation of the area at the place of measurement, recommendations for measuring the necessary parameters and direct determination of the physical and mechanical parameters of archaeological wood are given.

Formulas are given for estimating the degree of destruction of the structure of a wooden structural element. The classification of pine wood is proposed, according to the degree of degradation, depending on the density and fracturing (porosity).

Determination of the degree of destruction of the structure of the wooden element and the class of degradation of historical buildings will allow planning activities for consolidating the material, strengthening the structure or replacing the missing element.

Key words: wood, ultrasound, moisture, density, speed, strength, modulus of elasticity, classification, construction, porosity.

Введение. Сохранение памятников исторического и культурного наследия является одной из ключевых проблем современности. Мировое культурное наследие, неотъемлемой частью которого являются памятники деревянного зодчества, может быть не потеряно, если будут приняты неотложные меры по его сохранению [1].

При проведении реставрационных и ремонтных работ оценка качества древесины исторических построек является первоочередной задачей [2]. Для этого необходима информация об изменении физико-механических свойств исторической древесины, получение которой влечет за собой отбор образцов, например, для проведения стандартных испытаний на прочность и плотность, что является разрушающим

и необратимым мероприятием для исторических построек.

Методы неразрушающего контроля позволяют определять прочность конструкций без ослабления сечения и снижения несущей способности материала. К неразрушающим методам контроля относятся механические (ударные, отрыва, скалывания) и ультразвуковые способы [3].

Ультразвуковые способы используются для определения прочности хрупких и нехрупких материалов [4]. Оценка прочности конструкций производится по скорости распространения звука в материале при помощи ультразвуковых приборов [5].

Изменение скорости распространения ультразвуковых колебаний в элементах древесины

исторических построек может дать нам информацию о многих физико-механических параметрах, не разрушая при этом исторические памятники.

Основная часть. С целью выяснить зависимость основных физико-механических показателей древесины от скорости прохождения через нее звука был выбран измерительный прибор Пульсар-2.1, который позволяет определять прочность, плотность и модуль упругости строительных материалов, а также звуковой индекс абразивов по предварительно установленным градуировочным зависимостям данных параметров от скорости распространения ультразвуковых импульсов [6].

Работа Пульсар-2.1 основана на измерении времени и скорости прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя к приемнику. Осуществлялось сквозное прозвучивание образцов с использованием геля и сухим контактом (конусные насадки). Измерение скорости распространения ультразвука происходило в двух направлениях: продольном и радиальном [7].

После измерения скорости на тех же образцах были проведены испытания на поперечный изгиб, для расчета модуля упругости [8] по ГОСТ 16484.9-73 [9] и предела прочности по ГОСТ 16483.10-73 [10].

Реальная влажность каждого образца была определена с помощью весового метода ГОСТ 16483.7-71 [11], а плотность [12] по ГОСТ 16483.1-84 [13].

По полученным данным установлены уравнения регрессионной зависимости скорости распространения звука (V) от плотности (ρ_6) и влажности (W) древесины сосны, ели и березы [14].

Также получены уравнения регрессии зависимости предела прочности (σ), модуля упругости (E) и плотности (ρ) от скорости распространения ультразвука в продольном волокнам направлении, для тех же пород.

Получены уравнения регрессионной зависимости предела прочности (σ) и модуля упругости (E) от скорости распространения ультразвука в радиальном направлении к волокнам, влажности (W) и плотности (ρ_6). Для древесины сосны, ели и берез предел прочности можно определить как:

$$\sigma_c = -23,176 - 0,319 \cdot W + 0,027 \cdot V_p + 0,125 \cdot \rho_6; \quad (1)$$

$$\sigma_e = -99,824 - 0,057 \cdot W + 0,043 \cdot V_p + 0,204 \cdot \rho_6; \quad (2)$$

$$\sigma_6 = -9,031 - 0,518 \cdot W + 0,069 \cdot V_p - 0,029 \cdot \rho_6; \quad (3)$$

$$\sigma = -23,759 - 0,278 \cdot W + 0,034 \cdot V_p + 0,091 \cdot \rho_6; \quad (4)$$

$$E_c = -5,209 - 0,036 \cdot W + 0,003 \cdot V_p + 0,019 \cdot \rho_6; \quad (5)$$

$$E_e = -22,655 - 0,009 \cdot W + 0,008 \cdot V_p + 0,036 \cdot \rho_6; \quad (6)$$

$$E_6 = -1,763 - 0,052 \cdot W + 0,006 \cdot V_p + 0,003 \cdot \rho_6; \quad (7)$$

$$E = -5,906 - 0,033 \cdot W + 0,004 \cdot V_p + 0,014 \cdot \rho_6. \quad (8)$$

В результате разработана методика для определения физико-механических свойств деградированной археологической древесины и элементов исторических построек неразрушающим методом ультразвуковой диагностики.

При проведении измерений физико-механических свойств материала конструкции могут применяться следующие средства измерений и вспомогательные устройства: измеритель времени и скорости распространения ультразвука Пульсар 2.1 по ГОСТ Р 52931-2008 [15]; игольчатый влагомер Gann Compact S; столярный инструмент, необходимый для вскрытия поверхности деревянных элементов исторических построек.

В местах, где наблюдается большая влажность древесины, разрушения от различных внешних факторов или от воздействия веса конструкции, необходимо производить контроль свойств древесины. Это связано с тем, что места риска определяют общую устойчивость конструкции и выбор мероприятий по реконструкции.

К элементам конструкции может быть ограничен доступ в случаях, когда постройки ранее были покрыты штукатуркой или иной обшивкой.

В случае открытой конструкции не требуется принимать никаких дополнительных мер по доступу к элементам конструкции.

Если историческая постройка покрыта вагонной доской или любым другим материалом, то доступ к ней можно получить различными способами: при помощи ручного столярного инструмента либо при помощи электромеханического инструмента для обеспечения доступа измерительной вилки прибора Пульсар 2.1. Если же вагонная доска очень длинных размеров или ее затруднительно отрывать от конструкции, необходимо просверлить отверстия диаметром 50 мм на расстоянии друг от друга 100 мм, для того чтобы можно было подать конические наконечники к элементу конструкции.

У датчика поверхностного прозвучивания есть ограничения по высоте измерения. От кончиков конических наконечников до самого корпуса датчика будет равна 50 мм. В некото-

рых случаях необходимо получить доступ к элементу конструкции с большим диаметром отверстия, около 250 мм, для полного погружения измерительной вилки (рис. 1).

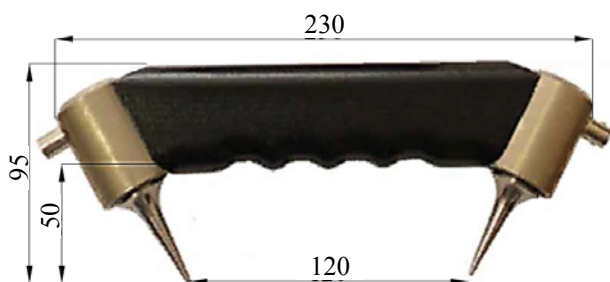


Рис. 1. Общий вид измерительной вилки прибора Пульсар 2.1

Штукатурка может убираться сверлением отверстий диаметром 50 мм на минимальном расстоянии друг от друга 100 мм, для того чтобы можно было приложить конические наконечники к элементу конструкции либо разрушить штукатурку во всей области измерения, но в случае со штукатуркой это необязательно.

На рис. 2 представлена схема разрушения поверхности, ограничивающей доступ к поверхности элемента постройки.

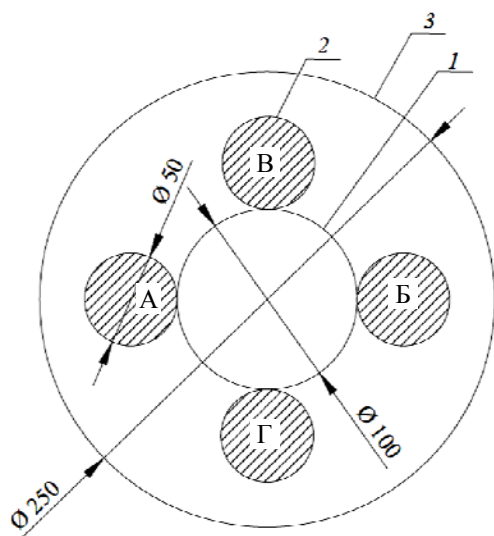


Рис. 2. Схема разрушения поверхности:

- 1 – минимальный диаметр окружности, на котором можно замерять скорость звука при помощи измерительной вилки; 2 – отверстие, необходимое для прохождения конических наконечников измерительной вилки прибора; 3 – окружность, которую нужно получить в случае необходимости полного доступа измерительной вилки прибора к элементу конструкции; А, Б – отверстия для измерения скорости распространения звука только в продольном направлении; В, Г – отверстия для измерения скорости распространения звука в продольном и тангенциальном направлении

При необходимости контроля датчиками на произвольном расстоянии (отличном от базы измерения – 120 мм) необходимо:

- присоединить датчики сквозного прозвучивания и надеть на них конические насадки;
- просверлить отверстия в любом месте доступа к элементу конструкции;
- измерить расстояние между точками приложения концов конических насадок;
- внести измеренное расстояние в пункт меню прибора «База измерения»;
- выбрать метод сквозного прозвучивания и измерить необходимые параметры.

Для измерения скорости распространения ультразвука при помощи метода сквозного прозвучивания к прибору подключаются датчики сквозного прозвучивания. Измеряется длина (база) контролируемой поверхности конструкции, это может быть, например, диаметр бревна, толщина или длина доски, толщина или длины бруса и др. Ввести значения в пункт главного меню прибора «База измерения» с точностью до 1 мм. В пункт меню прибора «Количество измерений» необходимо задать серию от 1 до 10 измерений. В случае измерения скорости без конических насадок техническая смазка наносится на рабочие плоскости датчиков сквозного прозвучивания.

Далее перейти в режим измерения. Установить датчики соосно по линии прозвучивания на противоположных сторонах контролируемого элемента конструкции и датчики прижать, притирая к поверхности элемента конструкции.

Контролируя на дисплее прибора измеряемое время T , мкс, и скорость V , м/с, распространения ультразвукового импульса, убедиться в стабильности показаний и при отклонениях показаний времени на 0,1–0,2 мкс от установившегося значения нажать клавишу, зафиксировав в памяти единичный замер. При завершении серии прибор выдаст результат измерения – средние значения времени распространения ультразвукового импульса, средние значения скорости распространения ультразвукового импульса.

Для измерения скорости распространения ультразвука при помощи метода поверхностного прозвучивания к прибору присоединяется измерительная вилка, представленная на рис. 1.

Методика измерения аналогична сквозному прозвучиванию, но при измерении скорости этим методом необходимо в меню прибора задать режим измерения «Поверхностное прозвучивание» и задать новую базу измерения, равную расстоянию между концами конических наконечников (120 мм). Так же, применяя этот метод, необходимо пользоваться схемой, представленной на рис. 2.

После нахождения скорости прохождения звука в археологической древесине нужно узнать ее текущую влажность при помощи игольчатого влагомера Gann Compact S. Получив эти два параметра, необходимо вычислить физико-механические характеристики.

Для определения плотности археологической древесины исторических построек нужно пользоваться следующими зависимостями:

– для ядровых пород, таких как сосна:

$$\rho_c = 5204,002 - 1,366 \cdot V + 9,38 \cdot V^2; \quad (9)$$

– для безъядровых пород, таких как ель:

$$\rho_e = 3557,919 - 0,809 \cdot V + 4,567 \cdot V^2; \quad (10)$$

– для лиственных пород, таких как береза:

$$\rho_b = 2242,684 - 0,024 \cdot V - 4,925 \cdot V^2; \quad (11)$$

– в случае невозможности установления породы элемента постройки:

$$\rho = 5757,096 - 1,524 \cdot V - 0,00011 \cdot V^2, \quad (12)$$

где ρ_c – плотность древесины сосны, кг/м^3 ; ρ_e – плотность древесины ели, кг/м^3 ; ρ_b – плотность древесины березы, кг/м^3 ; ρ – обобщенная плотность для всех пород, кг/м^3 ; V – скорость распространения звука вдоль волокон для всех пород, м/с .

Модуль упругости для выбранного элемента конструкции рассчитывается по следующим формулам:

– для ядровых пород, таких как сосна:

$$E_c = 3,469 \cdot 10 - 10 \cdot \rho_c \cdot V^2; \quad (13)$$

– для безъядровых пород, таких как ель:

$$E_e = 3,469 \cdot 10 - 10 \cdot \rho_e \cdot V^2; \quad (14)$$

– для лиственных пород, таких как береза:

$$E_b = 3,469 \cdot 10 - 10 \cdot \rho_b \cdot V^2; \quad (15)$$

– в случае невозможности установления породы элемента постройки:

$$E = 3,469 \cdot 10 - 10 \cdot \rho \cdot V^2, \quad (16)$$

где E_c , E_e , E_b – модуль упругости для древесины сосны, ели, березы соответственно, м/с ; E – обобщенный модуль упругости для всех пород, м/с .

Получив значения плотности исследуемых элементов исторических построек, нужно определить их базисную плотность по диаграмме для определения базисной плотности древесины.

Предел прочности для археологической древесины выбранного элемента конструкции рассчитывается по следующим формулам:

– для ядровых пород, таких как сосна:

$$\sigma_c = 14,090 + 8,72 \cdot E_c - 0,01 \cdot \rho_c; \quad (17)$$

– для безъядровых пород, таких как ель:

$$\sigma_e = 23,488 + 5,506 \cdot E_e - 0,00036 \cdot \rho_e; \quad (18)$$

– для лиственных пород, таких как береза:

$$\sigma_b = 13,548 + 9,077 \cdot E_b - 0,01 \cdot \rho_b; \quad (19)$$

– в случае невозможности установления породы элемента постройки:

$$\sigma = 18,709 + 7,898 \cdot E - 0,008 \cdot \rho, \quad (20)$$

где σ_c , σ_e , σ_b – предел прочности для древесины сосны, ели, березы соответственно, м/с ; σ – обобщенный предел прочности любой породы, м/с .

Произвести оценку степени разрушенности структуры деревянного элемента конструкции по следующим формулам:

$$C_{д.рб} = \frac{\rho_{б.этал} - \rho_{б.арх}}{\rho_{б.этал}} \cdot 100\%; \quad (21)$$

$$C_{д.т} = \frac{S_{\Sigma}}{L_{баз}} \cdot 100\%, \quad (22)$$

где $C_{д.рб}$ – степень деградации древесины по базисной плотности, %; $C_{д.т}$ – степень деградации древесины по трещиноватости, %; $\rho_{б.этал}$ – базисная плотность эталонной древесины, кг/м^3 ; $\rho_{б.арх}$ – базисная плотность археологической древесины, кг/м^3 ; $L_{баз}$ – длина базы измерения прибора, мм ; S_{Σ} – суммарная ширина трещи на измеряемом участке $L_{баз}$, мм .

Эталонной называют древесину, которая принимается за эталон для археологической древесины, т. е. если порода археологической древесины это сосна, тогда базисная плотность эталонной древесины будет базисной плотностью здоровой древесины сосны.

По полученным результатам необходимо классифицировать объект по степени деградации в зависимости от плотности и трещиноватости (пористости).

Степень деградации объекта будет оцениваться по уменьшению плотности археологической древесины, в сравнении с плотностью здоровой (эталонной) древесины той же породы:

- от 0 до 20% – I класс деградации;
- от 20 до 25% – II класс деградации;
- от 25 до 33% – III класс деградации;
- от 33 до 47% – IV класс деградации;
- выше 47% – V класс деградации.

Степень деградации объекта по трещиноватости будет оцениваться по усредненному значению суммарной ширины трещин на измеряемом участке археологической древесины:

- от 0 до 3% – I класс деградации;
- от 3 до 4% – II класс деградации;
- от 4 до 5% – III класс деградации;
- от 5 до 9% – IV класс деградации;
- 9% – V класс деградации.

Таким образом, при принятии решений по реставрации объекта для классов I и II, достаточно использовать огне- и биозащитные со-

ставы. Для классов III, IV, V необходимо укреплять структуру, т. е. использовать полимерные составы.

Заключение. Разработанная методика определения физико-механических свойств древесины исторических построек позволяет при помощи ранее полученных моделей, связываю-

щих физико-механические свойства со скоростью ультразвука, оценивать неразрушающим способом со значительной точностью состояние древесины конструкции и планировать мероприятия по консолидации материала, укреплению конструкции или замене утратившего несущую способность элемента.

Литература

1. Горшин С. Н., Максименко Н. А., Горшина Е. С. Защита памятников деревянного зодчества. М.: Наука, 1992. 279 с.
2. Корусенко М. А., Тихонов С. С., Харинский А. В. Интеграция археологических и этнографических исследований: сборник научных трудов: в 2 т. Иркутск: ИрГТУ, 2013. Т. 2. 310 с.
3. Физические методы испытаний древесины / А. Н. Чубинский [и др.]. СПб.: Санкт-Петербург, ГЛТУ, 2015. 125 с.
4. Бирдаро Н. Влияние некоторых факторов на акустические свойства древесины // Лесной вестник МГУЛ, 2013. С. 112–115.
5. Сергиенко Ю. К. Исследование ультразвукового метода обнаружения внутренней гнили в круглых лесоматериалах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 205.21.01. М., 1968. 26 с.
6. Экспериментальное исследование влияния температуры и влажности на распространение акустических волн в древесине / Я. И. Соколовский [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. БГИТА. Брянск, 2011. Вып. 30. С. 228–235.
7. Bucur V. Acoustics of Wood. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Publ., 2006. 394 p.
8. Сивов Ю. А. Определение скорости звука, модуля юнга и внутреннего трения резонансным методом. Томск: Томский политехнический университет, 2012. 9 с.
9. Древесина. Метод определения модуля упругости при статическом изгибе: ГОСТ 16483.9-73. Введ. 01.07.74. М.: Издательство стандартов, 1999. 7 с.
10. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе: ГОСТ 16483.3-84. Введ. 01.07.85. М.: Издательство стандартов, 1999. 7 с.
11. Древесина. Метод определения влажности: ГОСТ 16483.7-71. Введ. 01.01.73. М.: Издательство стандартов, 1999. 4 с.
12. Пауль Э. Э., Кухта В. Н. Зависимость механических свойств древесины от ее плотности // Лесное и охотничье хозяйство. 2011. № 10. С. 20–23.
13. Древесина. Метод определения плотности: ГОСТ 16483.1-84. Введ. 01.07.85. М.: Издательство стандартов, 1999. 7 с.
14. Федосенко И. Г., Чесновский Е. В., Мазаник Н. В. Разработка неразрушающего метода оценки состояния древесины конструкций исторических памятников // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 273–278.
15. Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия: ГОСТ Р 52931-2008. Введ. 01.07.2009 М.: Стандартинформ, 2009. 31 с.

References

1. Gorshin S. N., Maksimenko N. A., Gorshina Ye. S. *Zashchita pamyatnikov derevyannogo zodchestva* [Protecting monuments of wooden architecture]. Moscow, Nauka Publ., 1992. 279 p.
2. Korusenko M. A., Tikhonov S. S., Kharinsky A. V. *Integratsiya arkheologicheskikh i etnograficheskikh issledovaniy. Sbornik nauchnykh trudov: v 2 tomakh* [Integration of archaeological and ethnographic research]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2013. Vol. 2. 310 p.
3. Chubinskiy A. N., Tambi A. A., Varankina G. S., Fedyaev A. A., Chubinskiy M. A., Shvets V. L., Chauzov K. V. *Fizicheskie metody ispytaniy drevesiny* [Physical Methods of Testing Wood], St. Petersburg, Sankt-Peterburg Publ., GLTU Publ., 2015. 125 p.
4. Birdaro N. The influence of some factors on the acoustic properties of wood. *Lesnoy vestnik MGUL* [Proceedings of MGUL], 2013, pp. 112–115 (In Russian).
5. Sergienko Yu. K. *Issledovanie ul'trazvukovogo metoda obnaruzheniya vnutrenney gnili v kruglykh lesomaterialakh: Avtoref. dis. cand. tekhn. nauk* [Investigation of the ultrasonic method for detecting internal rot in round timber. Abstract of thesis cand. techn. sci.]. Moscow, 1968. 26 p. (In Russian).
6. Sokolovskiy Ya. I., Kens I. R., Storozhuk O. L., Borisov V. M. Experimental study of the influence of temperature and humidity on the propagation of acoustic waves in wood. *Sbornik nauchnykh trudov:*

Actual'nye problemy lesnogo kompleksa [Proceedings of BGITA: Actual problems of the forest complex], 2010, pp. 228–235 (In Russian).

7. Bucur V. Acoustics of Wood. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag Publ., 2006. 394 p.

8. Sivov Yu. A. *Opreделение skorosti zvuka, modulya yunga i vnytrennego treniya rezonansnym metodom* [Determination of the speed of sound, the modulus of the yung and internal friction by the resonance method]. Tomsk, TPU Publ., 2012. 9 p.

9. GOST 16483.9-73. Wood. Method for determining the modulus of elasticity under static bending. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1999. 7 p. (In Russian).

10. GOST 16483.3-84. Wood. Method for determining the ultimate strength in static bending. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1999. 7 p. (In Russian).

11. GOST 16483.7-71. Wood. Method for determination of humidity. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1999. 4 p. (In Russian).

12. Paul E. E., Kukhta V. N. Dependence of the mechanical properties of wood on its density. *Lesnoe i ohotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and Hunting], 2011, no. 10, pp. 20–23 (In Russian).

13. GOST 16483.1-84. Wood. Method for determining the density. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1999. 4 p. (In Russian).

14. Fedosenko I. G., Chesnovskii E. V., Mazanik N. V. Development of a nondestructive method for assessing the state of timber constructions of historical monuments. *TrudyBGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management and Processing of Renewable Resources. Minsk, 2017, no. 2, pp. 273–278 (In Russian).

15. GOST P 52931-2008. Devices for control and regulation of technological processes. General specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 31 p. (In Russian).

Информация об авторах

Федосенко Иван Гаврилович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Чесновский Евгений Викторович – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: justknowsky_evgenii@mail.ru

Information about the authors

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

Chesnovskiy Evgeniy Viktorovich – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: justknowsky_evgenii@mail.ru

Поступила 05.03.2018

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 674.023

V. R. Sobol¹, S. E. Bel'skiy², A. V. Blokhin²,
Adel Abdel Basset Rashid³, Mourtada Srour⁴

¹Belarusian State Pedagogical University

²Belarusian State Technological University

³Beirut Arab University

⁴Lebanese University

THE INFLUENCE OF IMPURITIES IN METAL ALLOYS AND FREQUENCY OF THE COMPELLED FLUCTUATIONS ON THE EVOLUTION OF FATIGUE DAMAGE

The article describes theoretical studies of the influence of vibration frequency on the development of fatigue failure of metal alloys. The influence of impurities in secondary aluminum alloys on Frank Read source dislocation is shown.

It was revealed that when critical stresses are reached, irreversible displacement and an increase in the number of dislocations occur, which means the beginning of the fatigue failure process. The obtained dependence made it possible to establish that the same degree of displacement of dislocations, with an increase in the frequency of forced oscillations, is achieved at high stresses.

Pilot testing of theoretical calculations showed the same nature of frequency dependences of threshold stresses, fatigue strength at cycles and critical stresses. Aluminum alloys (D16 and AK9M2) were subjected to loading by alternating bending in a wide frequency range (0.3–18.0 kHz).

Key words: dislocation, oscillation frequency, stress, fatigue characteristics, fatigue strength.

Introduction. Aluminum-based alloys in terms of production are inferior only to materials based on iron due to the presence of a complex of mechanical and technological properties [1, 2]. Very important is the task of increasing the use of secondary aluminum, the production of which allows reducing energy consumption several times in comparison with the primary metal [3–5].

In construction materials, including aluminum alloys, a certain type of defect structure is formed in order to ensure specific operational qualities of these materials, such as strength, elasticity, wear resistance, etc. This type of defect structure includes, among other things, extended and point defects and either stabilizes positions of the dislocations in space or allows their displacement within certain limits. Accordingly, certain properties of hardness, brittleness and elasticity of materials are ensured.

Aluminum alloys created with the use of recycled materials are characterized by a significant amount of impurities, a wide range of content of the main components, contamination with nonmetallic inclusions and heterogeneity of the structure. The presence of coarse inclusions of iron-containing phases is most dangerous for the complex of mechanical characteristics. These

factors significantly complicate the physical picture of development of the fatigue destruction process and lead to the necessity to take into account the interaction of dislocations with impurity atoms. Moreover, due to the fact that many details (such as pistons and radiators) manufactured with the use of recycled materials operate at elevated temperatures, the model in development requires consideration of the temperature factor as well.

Main part. We have considered certain features of behavior of the dislocation segment placed under the effect of alternating stress of low and intermediate frequencies with consideration of the influence of temperature mechanisms on the elastic interaction of substitutional impurities with dislocations within the surrounding atmospheres of point defects. We have also analyzed the contribution of the said processes to characteristic parameters of metals describing properties of materials within the conditions similar to the fatigue loading conditions.

The critical stresses of the onset of microplasticity are the result of the triggering of dislocation segments according to the Frank-Read scenario and under alternating loading represent an analogue of the yield stress under static loading. Irre-

versibility of microscopic deformation for any type of loading is associated with the movement of already existing dislocations, as well as with the possibility of generating new dislocation loops by a fixed source.

The known principles of the dynamics of a dislocation segment in the description of internal friction in the string model approximation are adapted in this case to the problem of consideration of not only inertial, viscous and elastic forces, but also additional forces of interaction with impurity atoms. Impurities are known to form atmospheres around extended defects, and the motion of dislocations depends on the type and size of the foreign atoms of implantation and substitution.

Under the conditions of loads alternating over time, the temperature factors, as the literature sources and the results of the experiment show, have a certain effect on the strength characteristics. As a starting approximation, we choose a string model of the dynamics of a dislocation segment with a modified right side [6]. In accordance with the expansion of the dislocation theory of the absorption of the energy of the Köhler-Grenato-Lucca elastic vibrations by J. Swartz and J. Wirtman, a dislocation in the material is affected by a force that prevents its movement and is opposed to the applied stress. This force is due to the presence of binding energy between a helical, edge or mixed dislocation with an impurity atom from the surrounding atmosphere. The magnitude and sign of the binding energy are determined by the distance of the impurity atom to the dislocation core and its position with respect to the extraplane. An essential role in this is played by the difference in the size of the impurity atoms and the atoms of the material itself. On the other hand, the quantity or concentration of impurity atoms near the dislocation and their Friedel distribution are determined by the sign of the binding energy and the relation of this energy to the characteristic energy of the thermal vibrations included in the so-called Boltzmann factor.

In developing the model, it is assumed that in the model metallic material impurity atoms are predominantly substitutional atoms with radii greater than the atoms of the base; therefore, they are attracted to the region under the extraplane and have a negative binding energy in the resulting positions. Subsequently, under an external elastic stress of a variable sign such atoms will prevent the motion of the segment. This means that in such consideration, the value of the amplitude of the external stress effectively decreases. Accordingly, the differential equation describing the small oscillations of the segment in the field of the given alternating stress shall be represented in the following form:

$$A \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + B \frac{\partial \zeta}{\partial t} - C \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} = \left(b\sigma - \frac{bG\epsilon c_0}{4} \exp \left[\left(\frac{W}{kT} \right) \right] \right) \sin \omega t, \quad (1)$$

here $A = \rho b^2 / \pi$ – is the effective mass of dislocation per unit length; ρ – is the material density; b – is the Burgers vector; ζ – is the value of displacement of the dislocation segment from the equilibrium position along its length y , which is minimal at the fixation points and reaches its maximum at the center; t – is the time; B – is the coefficient determining the force of dynamic viscous friction of the segment, which is a function of temperature, as it is determined by electronic and phonon components of the effect on displacement of atoms from the equilibrium position;

$$C = \frac{2Gb^2}{\pi(1-\nu)} - \text{is the coefficient determining}$$

elastic effect of the segment on itself under tension; G – is the elastic displacement modulus; ν – is the Poisson's ratio; $b\sigma$ – is the amplitude value of the alternating force of external stress source acting with a cyclic frequency ω reduced to the dislocation length ω ;

$$\epsilon = \frac{R_i - R_0}{R_0} - \text{is the relative difference be-}$$

tween the radii of the impurity atoms R_i and atoms of the material itself R_0 ; c_0 – is the bulk equilibrium concentration of impurity atoms at a distance from the dislocation segment;

$$W(r) = \frac{GbR_0^3 \epsilon (1+\nu) \sin \theta}{3\pi(1-\nu)r} - \text{is the general form}$$

of the expression for the binding energy of a segment with impurity atoms in the Cottrell atmosphere, considering their position with respect to the extraplane and their size with respect to the intrinsic atoms of the metal; r – is the distance from the dislocation core to the impurity atom, θ – is the azimuth angle between the Burgers vector and the radius vector of the impurity atom r , k – is the Boltzmann's constant; T – is the absolute temperature.

In the course of further calculations, to denote the effective stress of the elastic interaction of impurities with the dislocation segment partially compensating for the action of external alternating stress, we use the following notation:

$$D = \frac{G\epsilon c_0}{4} \exp \left[\left(\frac{W}{kT} \right) \right].$$

To solve the equation (1), we have applied the operational method implying direct and inverse integral transformation in accordance with the expression:

$$\bar{\zeta}(y, s) = \int_0^{\infty} \zeta(y, t) \exp(-st) dt; \quad (2)$$

$$\zeta(y, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \bar{\zeta}(s, t) \exp(st) ds.$$

We have performed direct and inverse transformation of the time variables $\omega t \rightarrow t' \rightarrow t$ is performed, which allows us to bring the differential equation (1) from the form characterized by the presence of partial derivatives to the usual non-homogeneous algebraic equation of the second order with constant coefficients for integral Laplace transforms.

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \bar{\zeta}}{dy^2} - \frac{A\omega^2 s^2 + B\omega s}{C} \bar{\zeta} = \\ = -\frac{A\omega^2 s + B\omega}{C} \zeta(t=0) - \frac{A\omega^2}{C} \frac{d\zeta(t=0)}{dt} - \\ - \frac{b(\sigma - D)}{C} \frac{1}{1+s^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

The solution of the given algebraic equation (3) makes it possible to determine the local displacement from the equilibrium position of the segment along its length. Applying the method of variation of the arbitrary Lagrange constant, we obtain:

$$\begin{aligned} \bar{\zeta}(y, s) = D_1 \exp(\Omega y) + D_2 \exp(-\Omega y) + \\ + \left\{ \frac{A\omega^2 s + B\omega}{C} \zeta(t=0) + \frac{A\omega^2}{C} \frac{d\zeta(t=0)}{dt} + \right. \\ \left. + \frac{b(\sigma - D)}{C} \frac{1}{1+s^2} \right\} \cdot \frac{C}{A\omega^2 s^2 + B\omega s}, \end{aligned} \quad (4)$$

here $\Omega = \left[\frac{A\omega^2 s^2 + B\omega s}{C} \right]^{\frac{1}{2}}$, and D_1 and D_2 are the

integration constants, which are to be determined using realistic boundary conditions. In order to determine constants D_1 and D_2 we apply the condition on the zero displacement of the segment at the fixing points both for the direct time and for the reverse time after the Laplace transform. As a result, we get:

$$\begin{aligned} \bar{\zeta}(y, s) = \left[\frac{\exp(\Omega y) + \exp(-\Omega y)}{\exp(\Omega y) - \exp(-\Omega y)} + 1 \right] \times \\ \times \left\{ \frac{A\omega^2 s + B\omega}{C} \zeta(t=0) + \frac{A\omega^2}{C} \frac{d\zeta(t=0)}{dt} + \right. \\ \left. + \frac{b(\sigma - D)}{C} \frac{1}{1+s^2} \right\} \cdot \frac{C}{A\omega^2 s^2 + B\omega s}. \end{aligned} \quad (5)$$

As can be seen from the expression obtained, the area occupied by the dislocation segment in the process of oscillation under the action of an alternating force determines the degree of its readiness to trigger when the central part reaches a certain critical displacement from the equilibrium position.

For convenience of analysis and consideration of the cumulative nonequilibrium state of the segment, as the next step it is expedient to determine the average length of the displacement along the length through summation of local contributions:

$$\langle \bar{\zeta}(s) \rangle = \frac{1}{2l} \int_{-l}^l \bar{\zeta}(y, s) dy. \quad (6)$$

As a result of taking the integral of (5) in accordance with expression (6), the average displacement along the length turns into a parameter depending only on the variable for the integral transformation s :

$$\begin{aligned} \langle \bar{\zeta}(s) \rangle = \left[\frac{\exp(\Omega l) + \exp(-\Omega l)}{\exp(\Omega l) - \exp(-\Omega l)} \frac{1}{\Omega l} + 1 \right] \times \\ \times \left[\frac{1}{s} \zeta(t=0) + \frac{A\omega^2}{A\omega^2 s^2 + B\omega s} \frac{d\zeta(t=0)}{dt} + \right. \\ \left. + \frac{b(\sigma - D)}{A\omega^2 s^2 + B\omega s} \frac{1}{1+s^2} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

After the reverse integral transformation procedure according to Scenario (2) using the contour integration for complex variable functions and the theory of residues, the average displacement of the dislocation segment as a function of time takes the following form:

$$\begin{aligned} \langle \zeta(t) \rangle = \frac{b(\sigma - D) l^2}{3C} \left[\frac{\exp(i\omega t)}{2i \left(1 + \frac{i\omega B l^2}{2C} \right)} - \right. \\ \left. - \frac{\exp(-i\omega t)}{2i \left(1 - \frac{i\omega B l^2}{2C} \right)} + \frac{\exp\left(-\frac{2C}{B l^2} t\right)}{\left(1 + \frac{4C^2}{\omega^2 B^2 l^4} \right) \frac{\omega B l^2}{2C}} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

In accordance with (8), the average displacement of the dislocation segment has an oscillating component as well as a component of the relaxation type. Such a solution corresponds to the presence of a transient process and to the steady motion at the frequency of the exciting external force.

As can be seen from numerical estimates, the characteristic relaxation time $B l^2 / 2C$ for a wide range of metals is about $10^{-1} - 10^{-5}$ seconds. Consequently, during a very short period after activation

of the external load, the transient processes within the relaxation time $Bl^2 / 2C$ are completed, and only the asymptotic values of parameters characteristic of the forced segment oscillations remain. Therefore, the asymptotic average displacement along the length as a function of time can be represented in the following form:

$$\langle \zeta(t) \rangle = \frac{b(\sigma - D)l^2}{3C} \times \frac{\exp(i\omega t) \left(1 - \frac{i\omega Bl^2}{2C}\right) - \exp(-i\omega t) \left(1 + \frac{i\omega Bl^2}{2C}\right)}{2i \left(1 + \left(\frac{\omega Bl^2}{2C}\right)^2\right)}. \quad (9)$$

Using Euler's formula, expression (9) can easily be reduced to expressions containing trigonometric functions:

$$\langle \zeta(t) \rangle = \frac{b(\sigma - D)l^2}{3C} \left\{ \frac{\sin(\omega t) - \frac{\omega Bl^2}{2C} \cos(\omega t)}{1 + \left(\frac{\omega Bl^2}{2C}\right)^2} \right\}. \quad (10)$$

In expression (10), the average displacement along the length of the segment contains two components: the one coincident in phase with the exciting force and the one shifted in phase by $\pi / 2$. The in-phase one with the exciting force of the segment displacement component corresponds to the net dissipationless movement of the segment and the phase-shifted component of the motion determines the weight of the viscous friction forces. Formally, when the dynamic viscosity coefficient tends to a large value, the expression for the displacement amplitude can be reduced to the following form:

$$\langle \zeta(t) \rangle = -\frac{2b(\sigma - D)}{3\omega B} \cos(\omega t). \quad (11)$$

It follows from (11) that in the presence of significant viscous forces, the displacement amplitude averaged along the length of the segment will be negligible. It is clear that with a high level of mechanical energy dissipation, it is possible to ensure sufficient bending of the segment leading to the generation of new dislocations, given the considerable amplitudes of the external elastic stresses.

Due to the presence of additional impurities, we have also considered another limit with respect to the forces of viscosity, in which the dissipative component in the motion of the segment is less significant. In this event, the expression for the displacement of the segment will contain both the in-phase component and the component that is

phase-shifted by a quarter of the period. This allows us to determine the threshold value of the external stress, which leads to the onset of generation of new dislocation segments:

$$\sigma = \langle \zeta(t) \rangle \left(1 + \left(\frac{\omega Bl^2}{2C}\right)^2\right) \times \frac{6Gb}{\pi(1-\nu)l^2} + \frac{G\epsilon c_0}{4} \exp\left(\frac{W}{kT}\right). \quad (12)$$

The transformation of expression (9) allows us to obtain the value of the stress of external alternating forces, which essentially corresponds to the cyclic limit of elasticity, which in depends on temperature to a certain extent:

$$\sigma = \frac{Gb}{l} \left[\frac{6}{\pi(1-\nu)} \left(1 + \left(\frac{\omega Bl^2 \pi(1-\nu)}{4Gb^2}\right)^2\right) + \frac{l\epsilon c_0}{4b} \exp\left(\frac{W}{kT}\right) \right]. \quad (13)$$

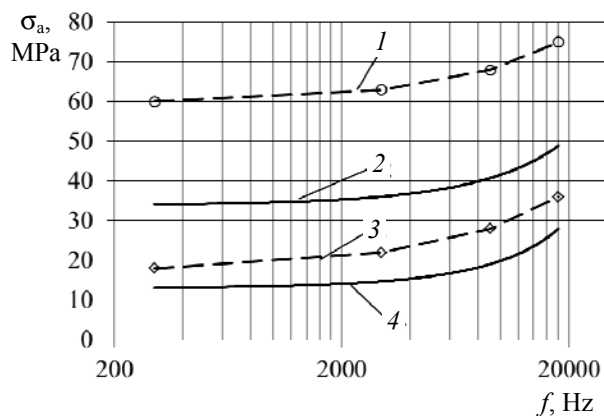
The transformation of expression (13) in the first approximation gives us certain relationship between the level of the threshold voltage leading to the effective triggering of the dislocation segment and material parameters. It should be noted that the elastic moduli themselves are weak temperature functions and even in the static load approximation the threshold stresses of the yield strength decrease insignificantly with temperature.

For experimental check of the values of critical stresses and comparison of fatigue characteristics determined at different test frequencies, it is suggested to use the threshold values of cyclic loads corresponding to the stresses below which the irreversible fatigue damageability is absent at unlimitedly large test bases. Threshold stresses were determined by means of X-ray structural and microstructural analyses as well as analysis of microhardness and electrical resistance upon reaching the level of cyclic stresses, below which changes in the parameters of these physical and mechanical properties were not registered by instruments. A significant growth of the above characteristics was recorded with the increase in the level of threshold characteristics and the beginning of hardening [9]. Усталостные испытания реализовывались с использованием оборудования и методик, описанных в статьях [10–14].

Good correlation of experimentally determined threshold values and critical stresses of the beginning of the process of fatigue destruction of the found theoretical values shall also be noted (figure).

Comparison of the curves of frequency dependencies of threshold stresses and endurance limits of the

materials determined in the examined frequency range demonstrated their equidistance, which was observed at normal and elevated temperatures for various test bases using both longitudinal and bending oscillations. Thus, the difference between the limited endurance limits and the magnitude of threshold stresses for each material in the examined frequency range is a constant value. Due to the fact that threshold stresses are determined in a very simple manner, for example, by changes in micro-hardness, it is possible to predict characteristics of low-frequency fatigue strength using the results of high-frequency tests [15]. This approach allows reducing the costs associated with the research significantly.



Threshold (1, 3) and critical (2, 4) stresses for alloys D16 (1, 2) and AK9M2

Conclusions. 1. Recording of interaction of the dislocation segment with the impurity atoms demonstrated that the threshold stress value at lower temperatures is more sensitive to distribution of im-

purities in the segment region, while in the region of high regions the presence of non-equilibrium configurations of impurity atoms influences dynamic properties of the segment to a lesser extent. This is due to the fact that at low temperatures the concentration of impurity atoms in the Cottrell and Snooke atmospheres increases to the point of saturation and precipitation of separate new phases; as the temperature increases, clouds of impurity atom atmospheres near dislocations dissipate up to the equilibrium concentration characteristic of the regions distant from extended defects.

2. The obtained dependence of critical stresses of the beginning of the fatigue destruction process on the frequency of alternating oscillations allows refining physical model of development of the fatigue destruction process of the studied aluminum alloys. It should be noted that the temperature influences the motion of the dislocation segment in a twofold manner: through the dynamic viscosity coefficient, which at temperatures of around the Debye temperature and higher is a linear temperature function, and through the elastic forces of interaction of the segment with impurities in long-range stress fields.

3. The experimental check (comparison of the curves of the frequency dependencies of critical stresses and threshold stresses determined experimentally) demonstrated their identical character (located almost equidistantly) both for the deformable alloy (D16) and for the cast alloy (AK9M2) obtained using recycled materials. This allows us to talk about the possibility of use of this model to predict characteristics of low-frequency fatigue of a wide range of metallic materials containing significant amounts of impurity atoms.

References

1. *Metally i tseny. Tsenovoy katalog metalloproduktii i oborudovaniya*. Available at: http://metal4u.ru/articles/by_id/203. (accessed 14.05.2011).
2. *Stal.by*. Available at: <http://stal.by/mirovoi-tsvetmet-v-aprele-prognozy-raspugali-investorov>. (accessed 14.05.2011).
3. Makarov G. S. Russian secondary aluminium market. *Rynok vtorichnykh metallov* [Russian secondary aluminium market], 2009, no. 5/25, pp. 70–73 (In Russian).
4. Malinovskiy V. S. Melting of aluminium alloys in electric arc furnaces. *Rynok vtorichnykh metallov* [Russian secondary aluminium market], 2004, no. 5/25, pp. 53–54 (In Russian).
5. Ryazanov S. G., Mityaev A. A., Volchok I. P. Trends and problems in the use of secondary aluminium alloys. *Nauka i tekhnologiya* [Science and technology], 2003, pp. 99–102 (In Russian).
6. Sobol' V. R., Mazurenko O. N., Bel'skiy S. E., Blohin A. V. To dynamics of dislocation segment in the field of alternating forces. *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. ("Aktual'nyye problemy fiziki tverdogo tela")* [Collection of reports of the international scientific conference ("Actual problems of solid state physics")]. Minsk, 2005, pp. 21–24 (In Russian).
7. Sobol' V. R., Mazurenko O. N., Logvinovich P. N., Belskiy S. E., Blokhin A. V. On the influence of viscosity forces on the movement of the dislocation segment and the propagation of elastic oscillations in metals. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports Of the national Academy of Belarus], vol. 51, no. 3, pp. 121–124 (In Russian).
8. Sobol' V. R., Logvinovich P. N., Bel'skiy S. E., Blokhin A. V. Temperature mechanisms of interaction of dislocations with impurities in the processes of energy transfer of elastic oscillations. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Engineering-physical journal], 2007, vol. 80, no. 4, pp. 193–199 (In Russian).

9. Bel'skiy S. E., Caruk F. F., Blohin A. V. [Threshold voltage is an important characteristic of the fatigue resistance of structural materials]. *Sb. tr. 1-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. ("Sovremennye metody proektirovaniya mashin. Raschet, konstruirovaniye i tekhnologiya izgotovleniya")* [Proceedings of the International scientific and technical conference ("Modern methods of designing machines. Calculation, design and manufacturing technology")], 2002, vol. 2, pp. 380–382 (In Russian).
10. Blokhin A. V., Caruk F. F., Gayduk N. A. Complex of equipment for fatigue testing of process equipment elements. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2002, issue X, pp. 213–215 (In Russian).
11. Blokhin A. V. Evolution of complex equipment for fatigue testing. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2004, issue XII, pp. 263–266 (In Russian).
12. Caruk F. F., Blokhin A. V. [Selection of optimal geometric parameters of samples for fatigue tests under different loading schemes]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. ("Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii i oborudovaniye, ekologicheski bezopasnye tekhnologii")* [Materials of the Interregional Scientific and Technical Conf. ("Resource and energy-saving technologies and equipment, environmentally friendly technologies")]. Minsk, 2005, pp. 262–263 (In Russian).
13. Blokhin A. V. Features of tests of casting aluminum alloys. NIRS-2003. *Tezisy dokl. VIII resp. nauch.-tekhn. konf. stud. i asp.* [Theses of the reports of the republican scientific and technical conference of students and post-graduate students]. Minsk, 2003. P. 154 (In Russian).
14. Caruk F. F., Bel'skiy S. E., Blokhin A. V. To the research methodology 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).
15. Caruk F. F., Blokhin A. V. Development of the method of rapid determination of fatigue characteristics of materials using high loading frequencies. *Tribofatika. Trudy IV Mezhdunar. simpoziuma* [Proceedings IV Interregional symposium]. Ternopol', 2002, vol. 1, pp. 503–506 (In Russian).

Information about the authors

Sobol' Valeriy Romanovich – DSc (Physics and Mathematics), Head of the Department of Physics and Methods of Teaching Physics, Professor. Belarusian State Pedagogical University (18, Sovetskaya str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dmiptu@belstu.by

Bel'skiy Sergey Efgrafovich – 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

Blokhin Aleksey Vladimirovich – 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: blakhin@belstu.by

Adel Abdel Basset Rashid – Beirut Arab University, Lebanon, Tyre. E-mail: adel_Rasheed_1975@hotmail.com

Mourtada Srour – Assistant Professor, Lebanese University, Lebanon. E-mail: adel_Rasheed_1975@hotmail.com.

Поступила 28.02.2018

УДК 69.658.26

А. Э. Пиир¹, О. А. Козак¹, В. Б. Кунтыш², А. Б. Сухоцкий²¹Северный Арктический Федеральный Университет им. М. В. Ломоносова
(Российская Федерация)²Белорусский государственный технологический университет**ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПЛАСТИНЧАТЫХ РЕКУПЕРАТОРОВ
ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Современные жилые здания имеют наружные ограждения как минимум с утроенным термическим сопротивлением по сравнению со зданиями, построенными по нормам советского времени. Благодаря этому теплопотери через ограждения снизились до уровня вентиляционных. Дальнейшее повышение тепловой эффективности жилых зданий невозможно без сокращения вентиляционных теплопотерь. Для многоквартирных и малоквартирных зданий, в которых проживает больше половины населения России, эта задача легко решается с помощью теплообменников-рекуператоров в системе вентиляции.

Пластинчатые рекуператоры для систем вентиляции выпускаются сегодня во многих странах мира. Они устроены настолько просто, что некоторые умельцы в нашей стране собирают их самостоятельно. Вместе с тем в отечественной литературе не удалось обнаружить методики проектирования воздушных рекуператоров для систем вентиляции. Представленная работа восполняет этот пробел. Формулы, описывающие течение потоков воздуха и процесс передачи теплоты через плоскую стенку рекуператора, образуют систему параметрических уравнений относительно искомых размеров поверхности теплообмена, скорости потоков, решение которой обычно выполняют методом последовательных приближений.

Исследование математической модели воздушных рекуператоров с перекрестно-точной и противоточной схемами движения потоков показало, что рабочие процессы в пластинчатых рекуператорах протекают при ламинарном движении потоков. Это значит, что скорость воздуха не влияет на коэффициент теплопередачи, величина которого определяется лишь шириной канала для воздуха. Теплопроводность материала поверхности теплообмена – металл, пластик, бумага – также не влияет на коэффициент теплопередачи в рекуператоре.

Данные обстоятельства позволяют упростить методику проектирования. С этой же целью авторы использовали вместо логарифмической формулы среднего температурного напора линейную формулу и формулу теплового потока при известном тепловом балансе.

В статье приведен пример конструкторского теплового расчета рекуператора и его поверочные расчеты в режиме усиленной кратковременной вентиляции помещений, а также в режиме ослабленной вентиляции помещений при отсутствии людей.

Ключевые слова: рекуперация теплоты, снижение теплопотерь, жилые здания, пластинчатый рекуператор.

A. E. Piir¹, O. A. Kozak¹, V. B. Kuntysch², A. B. Sukhotskiy²¹Northern (Arctic) Federal University of M. V. Lomonosov²Belarusian State Technological University**THERMAL CALCULATION OF LAMELLAR RECUPERATORS
FOR VENTILATION SYSTEMS**

Modern residential buildings have external protections with the thermal resistance at least in three times more in comparison with the buildings were built in accordance with construction norms of Soviet period. Thanks to them heatlosses through protections have decreased upto the level of ventilating heatlosses. As shown in article, further increasing of thermal efficiency of residential buildings is impossible without reduction of ventilating heatlosses. More than a half of the population of Russia lives in one-apartment and low-room buildings such problem is easily solved with the help of heat exchangers recuperators.

Today lamellar recuperators for ventilation systems are issued in many countries of the world. They are suited so simply that many skilled craftsman in our country make them independently. At the same time, in domestic literature were not found design techniques of air recuperators for ventilation systems. This work meets this lack. The formulas describing a current of air streams and process of thermal transfer through a flat wall make the system of the parametrical equations relative to required sizes of a surface of heat exchange and speed of streams. The solution of this task is usually carried out by method of consecutive approximations.

The research of mathematical model of air recuperators with the cross and counterflow scheme of the movement of streams have shown that working processes in lamellar recuperators proceed at the laminar movement of streams. It means that the speed of air doesn't influence on heat transfer coefficient. The size of heat transfer coefficient is defined by width of the channel for air. Heat conductivity of a surface of heat exchange material – metal, plastic, paper also doesn't influence heat transfer coefficient in a recuperator.

All these details allow simplifying a design technique. With the same purpose authors used a linear formula and a formula of a thermal stream at unknown thermal balance instead of the known logarithmic formula of an average temperature pressure.

The example of design thermal calculation of a recuperator and its checking calculations in the conditions of the strengthened short-term ventilation of rooms and also in the mode of the weakened ventilation of rooms in the absence of people is given in article.

Key words: warmth recovery, decrease in heat losses, residential buildings.

Введение. Нормативные тепловые потери жилого здания от теплопроводности наружных ограждений Q_T и вентиляционных потоков воздуха Q_B могут быть описаны простыми и достаточно точными формулами теплопередачи [1]. Как показано в источнике [2], средний нормативный коэффициент теплопередачи наружных ограждений K_T , Вт/(м²·К), жилого здания с числом этажей $e = 1-16$ простой геометрической формы «спичечный коробок», отнесенный к отапливаемой жилой площади A_o , составит при погрешности до $\pm 5\%$:

$$K_T = Q_T / (A_o \cdot \Delta t) = 2,5e^{0,33} / R_{ст}, \quad (1)$$

где $R_{ст}$ – нормативный коэффициент термического сопротивления стен, (м²·К) / Вт; Δt – температурный напор, К.

Вентиляционный коэффициент теплопередачи при норме вентиляции $v_n = 1,5$ м³/(м²·ч) [3], отнесенной к отапливаемой жилой площади, равен, Вт/(м²·°С):

$$K_{вен} = Q_B / (A_o \cdot \Delta t) = v_n \cdot c_v \cdot (1 - \rho) / 3600 = 0,54(1 - \rho), \quad (2)$$

где c_v – удельная объемная теплоемкость воздуха, Дж/(м³·К); ρ – доля регенерации (возврата) теплоты удаляемого воздуха.

Как показали расчеты нормативных тепловых потерь жилых зданий высотой 3, 5, 9 этажей [4], при увеличении термического сопротивления стен с 3 до 5 (м²·К)/Вт снижение суммарного коэффициента теплопередачи составит всего 20% из-за тормозящего влияния вентиляционных тепловых потерь.

Если одновременно с утеплением ограждений здания снизить в три раза вентиляционный коэффициент теплопередачи с помощью теплообменника-рекуператора, имеющего коэффициент регенерации $\rho = 0,66$, то суммарные тепловые потери жилых зданий высотой 3, 5 и 9 этажей снизятся в два раза и составят $K_n = 0,49$; 0,44 и 0,40 Вт/(м²·К) соответственно [5].

Таким образом, использование регенерации теплоты уходящего вентиляционного потока

для подогрева приточного воздуха является необходимым условием энергосбережения современного жилого дома.

Наиболее просто эта задача решается для односемейных и малоквартирных зданий, в которых проживает более половины населения России.

В системах принудительной вентиляции жилых и общественных зданий многих стран широкое применение получили пластинчатые рекуператоры, снижающие тепловые потери в 2–3 раза. Они отличаются простотой конструкции, компактностью и низким потреблением энергии на прокачку воздуха, имеют длительные сроки службы.

Несмотря на простое устройство рекуператора, формулы теплового расчета образуют сложную параметрическую систему, решение которой обычно выполняется путем последовательных приближений.

Авторы предлагают одновариантную методику конструкторского и поверочного теплового расчета, основанную на использовании линейных формул для расчета среднего температурного напора, которые обычно применяют при тепловом расчете нестандартных теплообменников со сложным движением теплоносителей [6], и формулы для тепловой нагрузки при неопределенном тепловом балансе [7].

Основная часть. Пластинчатые воздушные теплообменники для системы вентиляции выпускаются серийно по 6–7 типоразмеров во многих странах мира. Отдельные аппараты могут объединяться последовательно или параллельно, образуя агрегаты требуемой производительности по расходу воздуха и тепловой мощности для вентиляционных систем жилых и общественных зданий.

Стандартные перекрестно-точные рекуператоры собираются из пластин квадратной формы (рис. 1, а), длина и ширина которых $A = B = 0,4-1,0$ м – с шагом 0,1 м, а количество пластин – от 40 до 100 шт.

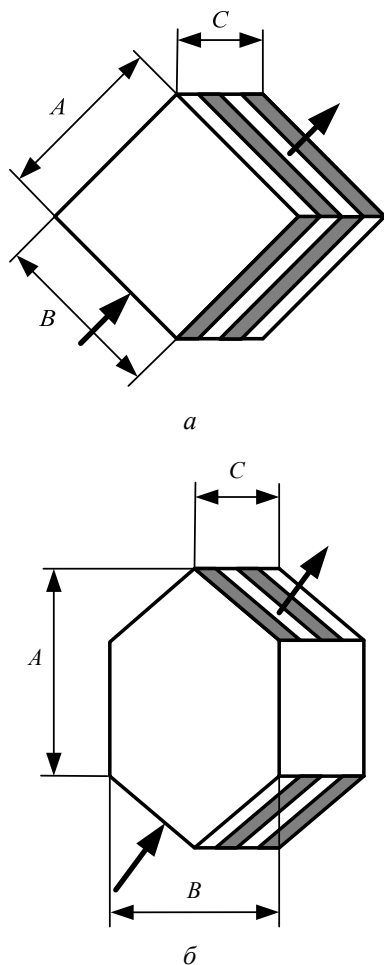


Рис. 1. Особенности конструкции рекуператоров с перекрестным (а) и противоточным (б) движением потоков воздуха

Стандартные противоточные рекуператоры собирают из пластин вытянутой формы для получения более высокого коэффициента регенерации. Они состоят из корпуса, выполненного из стального оцинкованного листа, и пакета алюминиевых пластин толщиной $\Delta = 0,2$ мм, соединенных по краям поочередно попарно через прокладки с образованием каналов для прохода воздуха шириной $\delta = 5-9$ мм.

Пластины имеют квадратную или вытянутую шестиугольную форму, что обеспечивает перекрестную или противоточную схему движения потоков.

В табл. 1 приведены размеры и примерная производительность серийных перекрестно-точных воздухоподогревателей, а ширина пакета пластин B равна примерно его толщине C (рис. 1, б).

Конструктивная площадь поверхности теплообменника, m^2

$$F = A \times B \times C / \delta, \quad (3)$$

где $A \times B \times C$ – габариты рекуператора.

Таблица 1

Показатели стандартного ряда пластинчатых рекуператоров для систем вентиляции, $\delta = 0,005$ м

№	$A \times B \times C$, м	F , m^2	S , m^2	n , шт.	m , чел.	ρ
4	0,4×0,4×0,2	5,6	0,04	40	5	0,4
5	0,5×0,5×0,2	12,5	0,06	50	7	0,45
6	0,6×0,6×0,3	21,6	0,09	60	10	0,5
7	0,7×0,7×0,35	35	0,12	70	14	0,52
8	0,8×0,8×0,4	51	0,16	80	19	0,54
9	0,9×0,9×0,45	73	0,20	90	24	0,56
10	1,0×1,0×0,5	100	0,25	100	30	0,6

Количество пластин в пакете, шт.

$$n = 1 + C / (\delta + \Delta) \approx C / \delta. \quad (4)$$

Количество каналов для каждого из потоков охлаждаемого и нагреваемого воздуха, шт.

$$z = (n - 1) / 2 \approx n / 2 \approx C / (2\delta). \quad (5)$$

Площадь поперечного сечения каналов для воздуха, m^2

$$S = s \cdot z = B \cdot C / 2. \quad (6)$$

Расход приточного и удаляемого воздуха при скорости w , m^3/c

$$V = w \cdot S = v_n \cdot m, \quad (7)$$

где $v_n = 0,00833$ m^3/c – нормативный расход воздуха на одного жителя; m – количество потребителей.

Расчетная температура воздуха $t_{вн}$, отводимого из верхней части вентилируемого помещения, обычно превышает нормативную на уровне дыхания \approx на 2–3 градуса.

Расчетную температуру наружного воздуха $t_{нар}$ примем равной расчетной температуре для систем вентиляции $t_{р.в.}$

Располагаемый расчетный перепад температуры внутреннего и наружного воздуха, $^{\circ}C$

$$\Delta t_p = t_{вн} - t_{р.в.} \quad (8)$$

При одинаковых потоках охлаждаемого и нагреваемого воздуха $V_1 = V_2 = V$ изменение температуры потоков в рекуператоре зависит от доли возвращаемого тепла ρ :

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t = \rho \cdot \Delta t_p, \quad (9)$$

где ρ – приблизительная величина коэффициента регенерации.

Для расчета среднего температурного напора в воздушном рекуператоре воспользуемся линейной формулой (рис. 2):

$$\begin{aligned} \Delta t_{cp} &= \Delta t_p - a\Delta t_1 - b\Delta t_2 = \\ &= \Delta t_p - (a + b)\Delta t = (1 - (a + b) \cdot \rho) \cdot \Delta t_p, \end{aligned} \quad (10)$$

где $a + b = 1$ для противотока из формулы профессора Воскресенского К. Д. [8]; $a + b = 1,1$ для перекрестного тока из формулы профессора Пиира А. Э. [9].

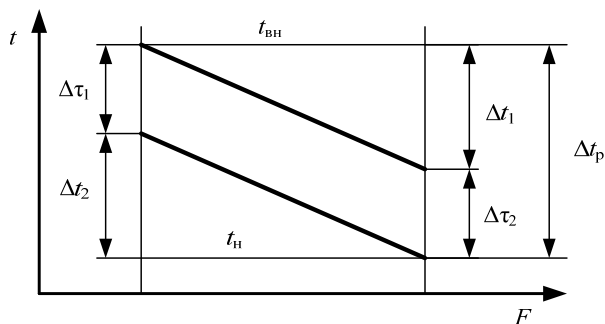


Рис. 2. Сравнение температурных перепадов Δt и $\Delta \tau$, используемых для расчета среднетемпературного напора в теплообменнике по линейной $\Delta t_{ср}$ и логарифмической формулам $\Delta t_{лог}$

Как можно увидеть из этой формулы, средний температурный напор при перекрестном токе в рекуператорах меньше среднего температурного напора при противотоке на величину $\delta t = 0,1 \cdot \rho \cdot \Delta t_p$, т. е. на 5–7%, что требует соответствующего увеличения поверхности теплообмена.

Площадь поверхности теплообмена рекуператора в общем случае, m^2

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{ср}} = \frac{c_v V}{k} \cdot \frac{\rho}{1 - \rho(a + b)}. \quad (11)$$

Из формулы (10) следует, что с увеличением коэффициента регенерации уменьшается средний температурный напор, поэтому площадь поверхности теплообмена растет быстрее, чем тепловой поток.

В табл. 2 показано изменение относительного теплового потока Q , относительной величины площади поверхности F и расхода металла F/Q при увеличении ρ .

Таблица 2

Влияние коэффициента регенерации на размер рекуператора

Величины	Коэффициент регенерации ρ							
	0,5	0,6	0,66	0,7	0,75	0,8	0,9	1,0
Q	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0
F	1,0	1,4	2,0	2,3	3,0	4,0	10	~
F/Q	1,0	1,2	1,5	1,64	2,0	2,5	5,5	–

Как видно из табл. 2, высокие коэффициенты регенерации теплоты, равные 0,75–0,80, по сравнению с $\rho = 0,5$, достигаются повышенными в 2,0–2,5 раза удельными расходами металла F/Q .

Выбор оптимальной величины коэффициента регенерации является технико-экономической задачей в каждом конкретном случае, где выигрыш от экономии теплоты должен сопоставляться с увеличением капитальных затрат в установки и ростом расходов на циркуляцию.

Запишем формулы теплопередачи и теплового баланса, Вт:

$$Q = c_v \cdot V \cdot \Delta t = k \cdot F \cdot \Delta t_{ср}. \quad (12)$$

Подставим формулы среднего температурного напора рекуператора $\Delta t_{ср}$ (10) и для выражения Δt (9).

После преобразований получим полезную формулу для вычисления теплового потока по начальным температурам потоков [9] при неизвестных конечных температурах, Вт:

$$Q = \Delta t_p \left(\frac{1}{kF} + \frac{a + b}{c_v V} \right)^{-1}. \quad (13)$$

С учетом $Q = c_v \cdot V \cdot \rho \cdot \Delta t_p$ из формулы (13) получим выражение для расчета коэффициента регенерации известного аппарата, не требующее проведения итерационных расчетов:

$$\rho = \left(\frac{c_v \cdot V}{kF} + a + b \right)^{-1}. \quad (14)$$

Формулы (13) и (14) позволяют предельно просто выполнять поверочные расчеты в один прием.

Выразим тепловой поток в зависимости от величины поверхности теплообмена и расходов воздуха:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{ср} = k \cdot A \cdot B \cdot n \cdot \Delta t_{ср},$$

$$Q = c_v \cdot V \cdot \Delta t = c_v \cdot w \cdot B \cdot \delta \cdot \Delta t \cdot n / 2. \quad (15)$$

Приравняв тепловые потоки, найдем длину пластин поверхности теплообмена, м:

$$A = \frac{c_v}{k} \cdot \frac{w \delta}{2} \cdot \frac{\rho}{1 - (a + b)\rho}. \quad (16)$$

Длина поверхности теплообмена A должна обеспечить заданный подогрев свежего воздуха Δt .

Из условия неразрывности потока

$$V = w \cdot z \cdot S = w \cdot n \cdot B \cdot \delta / 2 = v \cdot m \quad (17)$$

вычислим ширину пластины:

$$B = \frac{2 \cdot m}{n} \cdot \frac{v}{w \cdot \delta} = \frac{m}{z} \cdot \frac{v}{w \cdot \delta}. \quad (18)$$

Величина z/m равна числу каналов, служащих для пропуска одной нормативной порции вентиляционного потока v . Из опыта

проектирования перекрестно-точных рекуператоров (табл. 1) ее величина связана с размерами рекуператора и может быть примерно оценена как

$$z / m \cong 6 \cdot m^{-0,33}, \quad n \cong 12m^{2/3}. \quad (19)$$

Точное количество пластин найдем по площади поверхности теплопередачи, шт.:

$$F_T = A \cdot B \cdot n = Q / (k \cdot \Delta t_{cp}),$$

$$n = \frac{m}{A \cdot B} \cdot \frac{c_v \cdot v}{k} \cdot \frac{\rho}{1 - (a + b) \cdot \rho}. \quad (20)$$

Следует иметь в виду, что в перекрестно-точных теплообменниках ширина и длина пакета пластин равны между собой, т. е. $A = B$, в противоточных – длина больше ширины $A = x \cdot B$. Толщина пакета пластин $C \cong n \cdot \delta$, м.

Расчетную скорость воздуха вычислим из условия согласования размеров поверхности теплообмена и размеров канала для прохода воздуха.

Подставив A и B из формул (16) и (18), получим выражение для расчетной скорости воздуха в рекуператоре, м/с:

$$w^2 = x \cdot \frac{4mv}{\delta^2} \cdot \frac{k}{c_v} \cdot \frac{1 - (a + b) \cdot \rho}{\rho \cdot n}. \quad (21)$$

Из формулы (21) следует, что при уменьшении ширины пакета в 2 и 3 раза скорость увеличивается в 1,4 и 1,7 раза, при увеличении $\rho = 0,5$ до 0,66 и 0,75 скорость снизится в те же самые 1,4 и 1,7 раза.

Оценим диапазон расчетной скорости в воздушных каналах. При средней величине конструктивной характеристики $z / m = n / 2m = 2,5$, равной среднему числу каналов, служащих для прохода нормативного расхода воздуха v_n , выражение для расчетной скорости в противоточном рекуператоре примет вид, а ее величина составит

$$w = \left(0,8 \cdot \frac{v}{\delta^2} \cdot \frac{k}{c_v} \cdot \frac{1 - \rho}{\rho} \cdot x \right)^{0,5}. \quad (22)$$

При крайних значениях $\rho = 0,5$ и 0,75, $x = 1,5$ и 2,5 и постоянных величинах $v = 0,00833 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{чел.}$, $c_v = 1300 \text{ кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{°C}$, $\delta = 0,005 \text{ м}$, $k = 5,3 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$, $a + b = 1$, м/с

$$w = 1,04 \cdot \left(\frac{1 - \rho}{\rho} \cdot x \right)^{0,5} = 0,6 - 1,7.$$

Низкие расчетные скорости потоков воздуха делают работу рекуператоров бесшумной, гидравлическое сопротивление аппарата низ-

ким, а расход энергии на перемещение воздуха минимальным.

Теплофизические свойства сухого воздуха при нормальном барометрическом давлении и средней температуре 0°С для интервала +20...–20°С имеют значения [10]: теплоемкость $c_p = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$, теплопроводность $\lambda \cdot 10^2 = 2,44 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6 = 13,28 \text{ м}^2/\text{с}$, плотность $\rho = 1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Критическая скорость течения в канале с эквивалентным диаметром $d_{\text{эКВ}} = 2\delta = 0,01 \text{ м}$ будет равна, м/с

$$w = \frac{\text{Re} \cdot \nu}{d_{\text{эКВ}}} = \frac{2300 \cdot 13,3}{0,01 \cdot 10^6} = 3,06.$$

При расчетных скоростях 0,6–1,7 м/с работа рекуператора при ламинарном течении потоков.

Число Нуссельта при ламинарном движении не зависит от скорости и является постоянной величиной [11]:

$$\text{Nu} = \frac{\alpha \cdot d_{\text{эКВ}}}{\lambda} = 4,36.$$

Коэффициент теплоотдачи плоской пластины при обтекании ламинарным потоком воздуха, Вт/(м²·°C).

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d_{\text{эКВ}}} = \frac{4,36 \cdot 2,44}{0,01 \cdot 10^6} = 10,6.$$

Коэффициент теплопередачи через плоскую стенку с низким термическим сопротивлением $\Delta / \lambda \ll 1 / \alpha$, Вт/(м²·K)

$$k = (1 / \alpha_1 + \Delta / \lambda_a + 1 / \alpha_2)^{-1} = \alpha / 2 = 5,3.$$

При увеличении шага установки пластин (ширины канала δ) с 5 до 6 и 7 мм коэффициент теплопередачи снизится до 4,4 и 3,5 Вт/(м²·°C).

Эту зависимость можно описать эмпирической формулой:

$$k = 26 / \delta.$$

Конструктивный расчет пластинчатого рекуператора. Цель расчета: определить размеры пакета пластин A , B , C рекуператора, предназначенного для системы вентиляции жилого дома.

Исходные данные: расчетное число жителей – 20 чел.; коэффициент регенерации тепла не менее $\rho = 0,5$; тип рекуператора – противоточный, поверхность теплообмена из алюминиевой фольги толщиной $\Delta = 0,2 \text{ мм}$; шаг пластин $\delta = 5 \text{ мм}$; кратность длины сторон $A / B = x = 2$.

Вычислим по формуле (22) скорость воздуха

$$w = \left(0,8 \cdot \frac{0,00833}{0,005^2} \cdot \frac{5,3}{1300} \cdot \frac{1-0,5}{0,5} \cdot 2 \right)^{0,5} = 1,43 \text{ м/с.}$$

Вычислим по формуле (16) длину пластин:

$$A = \frac{1,3}{5,3} \cdot \frac{1,43 \cdot 5}{2} \cdot \frac{0,5}{1-0,5} = 0,9 \text{ м.}$$

Вычислим ширину пластин:

$$B = A / x = 0,9 / 2 = 0,45 \text{ м.}$$

Вычислим по формуле (20) количество пластин

$$n = \frac{20 \cdot 1,3 \cdot 0,83}{0,9 \cdot 0,45 \cdot 5,3} \cdot \frac{0,5}{1-0,5} = 100,5 \text{ шт.}$$

Высота пакета пластин

$$C = 0,005 \cdot 100,5 = 0,5 \text{ м.}$$

Размеры пакета пластин

$$A \times B \times C = 0,9 \times 0,45 \times 0,5 \text{ м.}$$

Площадь поверхности пластин

$$F_{\text{п}} = 100 \cdot 0,9 \cdot 0,45 = 40,5 \text{ м}^2.$$

Площадь поверхности теплообмена по формуле (11)

$$F_{\text{т}} = \frac{1,3 \cdot 20 \cdot 8,33}{5,3} \cdot \frac{0,5}{1-0,5} = 40,8 \text{ м}^2.$$

Расчет сошелся $F_{\text{т}} \approx F_{\text{п}}$ $\delta F = 0,1\%$.

Вычислим по формуле (14) коэффициент регенерации:

$$\rho_{\text{р}} = \left(\frac{1,3 \cdot 8,33 \cdot 20}{5,3 \cdot 42,5} + 1 \right)^{-1} = 0,51.$$

Расчет сошелся $\rho_{\text{р}} \approx \rho$ $\delta \rho = 2\%$.

Тепловая мощность регенерации на единицу располагаемого температурного напора, Вт/°С

$$\frac{Q}{\Delta t_{\text{р}}} = c_{\text{в}} \cdot m \cdot v \cdot \rho = 1,3 \cdot 8,33 \cdot 20 \cdot 0,51 = 110.$$

Поверочный расчет рекуператора. Вычислим тепловую мощность рекуператора с

размерами пакета $0,9 \times 0,45 \times 0,5$ м при расчетной скорости воздуха $1,43$ м/с; с усиленной вентиляцией с удвоенной скоростью $2,86$ м/с; при «спящем» режиме со сниженным в 4 раза расходом воздуха.

Номинальная тепловая мощность

$$\frac{Q_1}{\Delta t_{\text{р}}} = \left(\frac{1}{5,3 \cdot 42,5} + \frac{1}{1,3 \cdot 20 \cdot 8,33} \right) = 110,5 \text{ Вт/К.}$$

Тепловая мощность при усиленной вентиляции

$$\frac{Q_2}{\Delta t_{\text{р}}} = \left(\frac{1}{5,3 \cdot 42,5} + \frac{1}{1,3 \cdot 40 \cdot 8,33} \right) = 148 \text{ Вт/К.}$$

Тепловая мощность при слабой вентиляции

$$\frac{Q_3}{\Delta t_{\text{р}}} = \left(\frac{1}{5,3 \cdot 42,5} + \frac{1}{1,3 \cdot 5 \cdot 8,33} \right) = 43,6 \text{ Вт/К.}$$

Коэффициент регенерации при слабой вентиляции

$$\rho_3 = \left(\frac{1,3 \cdot 5 \cdot 8,33}{5,3 \cdot 42,5} + 1 \right)^{-1} = 0,81.$$

При температуре воздуха в помещении 22°C и наружного воздуха -12°C температура, подаваемая рекуператором воздуха, составит

$$t_{\text{р}} = -12 + 0,81 \cdot (22 + 12) = 15^\circ\text{C}.$$

Заключение. Предложена система параметрических формул, описывающих процессы течения воздуха и теплопередачи в пластинчатых теплообменниках с перекрестными и противоточными схемами движения.

Использована линейная формула для среднего температурного напора и формула теплового потока при неопределенном тепловом балансе. Это позволило получить безитеративную методику конструктивного и поверочного теплового расчета рекуператора.

Простота и доступность методики расчета, возможность изготовления рекуператора в домашних условиях позволит всем желающим собственными силами решить вопрос экономии энергии на вентиляции жилого дома.

Литература

1. Малявина Е. Г. Теплотери здания. Справочное пособие. 2 изд., испр. М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. 144 с.
2. Пиир А. Э., Козак О. А., Агафонов И. М. Нормативный коэффициент теплопередачи жилого здания // Известие вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2015. № 5. С. 69–76.
3. АВОК Стандарт-1 – 2004. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. 145 с.

4. Пиир А. Э., Козак О. А., Кунтыш В. Б. Пути снижения нормативных теплопотерь в жилых зданиях // Известие вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2017. № 2. С. 113–118.
5. Пиир А. Э., Козак О. А. Повышение тепловой эффективности жилых зданий в суровых климатических условиях // Материалы Всерос. научно-технической конференции с международным участием. Омск. 2017. № 5. С. 108–116.
6. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов. 8-е изд. М.: Энергоиздат, 1999. 360 с.
7. Фраас А., Оцисик М. Расчет и конструирование теплообменников. М.: Атомиздат, 1971. 356 с.
8. Воскресенский К. Д. Сборник расчетов задач по теплопередаче. М.-Л.: ГЭИ, 1959. 333 с.
9. Пиир А. Э. Методика выбора, основы проектирования высокоэффективных воздухоподогревателей: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 1998. 79 с.
10. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Экология, 1973. 326 с.
11. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.-Л.: Энергия, 1965. 420 с.

References

1. Malyavina E. G. *Teplopoteri zdaniya* [Heat loss of the building]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2011. 144 p.
2. Piir A. E., Kozak O. A., Agafonov I. M. Normative heat transfer coefficient of residential building. *Izvestiya vuzov i energeticheskikh ob'yedineniy SNG. Energetika* [News of universities and CIS EO Energy], 2015, no. 5, pp. 69–76 (In Russian).
3. AVOK Standard-1 – 2004. *Zdaniya zhilyye i obshchestvennyye. Normy vozdukhoobmena* [AVOK Standard-1 – 2004. Residential and public buildings. Rules vozduhom-man]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2004. 145 p.
4. Piir A. E., Kozak O. A., Kuntyshev B. V. Ways to reduce the regulatory heat loss in residential buildings. *Izvestiya vuzov i energeticheskikh ob'yedineniy SNG. Energetika* [News of universities and CIS EO Energy], 2017. no. 2, pp. 113–118 (In Russian).
5. Piir A. E., Kozak O. A. Improving the thermal efficiency of residential buildings in severe climatic conditions. *Materialy Vseros. nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Materials of all-Russian scientific technical conference with international participation]. Omsk, 2017, no. 5, pp. 108–116 (In Russian).
6. Sokolov E. I. *Teplofikatsiya i teplovyye seti* [District Heating and heat networks]. Moscow, Energoizdat Publ., 1999. 360 p.
7. Fraas A., Otsisik M. *Raschet i konstruirovaniye teploobmennikov* [Calculation and design of heat exchangers]. Moscow, Atomizdat Publ., 1971. 356 p.
8. Voskresenskiy K. D. *Sbornik raschetov zadach po teploperedache* [Collection of problem calculations on heat transfer]. Moscow-Leningrad, GEI Publ., 1959. 333 p.
9. Piir A. E. *Metodika vybora, osnovy proektirovaniy vysokoeffektivnykh vozdukhopodogrevateley* [Method of selection, principles of design of highly efficient air preheaters]. Arkhangel'sk, AGTU Publ., 1998. 79 p. (In Russian).
10. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. *Osnovy teploperedachi* [Fundamentals of heat transfer]. Moscow, Ekologiya Publ., 1973. 326 p.
11. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. S. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow-Leningrad, Energiya Publ., 1965. 420 p.

Информация об авторах

Пиир Адольф Эдвардович – доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и теплоэнергетики. Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) им. М. В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: ado@piir.ru

Козак Оксана Александровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплотехники и теплоэнергетики. Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) им. М. В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: oksana_kozak_2012@mail.ru

Кунтыш Владимир Борисович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: egit@belstu.by

Сухоцкий Альберт Борисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alk2905@mail.ru

Information about the authors

Piir Adol'f Edvardovich – DSc (Engineering), Professor, the Department of Heat Engineering and Heat Power Engineering. Northern (Arctic) Federal University of M. V. Lomonosov (17, Emb. of Northern Dvina, Arkhangel'sk, 163002, Russian Federation). E-mail: ado@piir.ru

Kozak Oksana Aleksandrovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Heat Engineering and Heat Power Engineering. Northern (Arctic) Federal University of M. V. Lomonosov (17, Emb. of Northern Dvina, Arkhangel'sk, 163002, Russian Federation). E-mail: oksana_kozak_2012@mail.ru

Kuntyshev Vladimir Borisovich – DSc (Engineering), Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: egit@belstu.by

Sukhotskiy Al'bert Borisovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alk2905@mail.ru

Поступила 11.02.2018

УДК 621.573(047):536.24

В. Б. Кунтыш, А. Б. Сухоцкий, Е. С. Данильчик
Белорусский государственный технологический университет

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА АППАРАТОВ
ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПО ОБОБЩЕННЫМ
И ЧАСТНЫМ УРАВНЕНИЯМ ПОДОБИЯ
ТЕПЛОАЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) химической, нефтеперерабатывающей, газовой промышленности, а также для теплоносителей энергетических установок применяются преимущественно биметаллические трубы с накатными поперечными ребрами из алюминия и лишь не более чем в 10% АВО трубные пучки теплообменных секций состоят из труб с навитыми спиральными из алюминиевой ленты KLM-ребрами или ребрами, основание которых завальцовано в стенку на глубину 0,3–0,5 мм. В решетках теплообменных секций оребренные трубки располагаются шахматно, компоновочными характеристиками их являются поперечный, продольный, диагональный шаги и число поперечных рядов труб по направлению движения охлаждающего воздуха окружающей среды.

При вариантных расчетах АВО, оптимизации геометрических параметров ребра (высоты, шага, толщины) и компоновочных характеристик пучка применяют обобщенные уравнения подобия для теплоотдачи и аэродинамического сопротивления, охватывающие широкий диапазон изменения относительных безразмерных симплексов, составленных из параметров оребрения и компоновки труб. Но погрешность уравнений находится в области $\pm 10\text{--}20\%$.

При расчетах АВО применяют и другой метод, базирующийся на использовании частных критериальных уравнений теплоотдачи и аэродинамического сопротивления для заданного типоразмера оребренной трубы и конкретных значений ее шагов расположения в решетках секции. Погрешность таких уравнений не превышает $\pm 5\text{--}7\%$ в интервале рабочих режимов эксплуатации аппарата. Как правило, данные уравнения не всегда имеются у расчетчика. Для получения их необходимо проведение экспериментального исследования модели пучка методами теплового моделирования и обработки опытных данных на основе теории подобия. Для этого требуются финансовые затраты, и не малые, экспериментальный стенд в виде аэродинамической трубы и время.

В связи с изложенным в предлагаемой статье материалом применены четыре метода расчета АВО природного газа горизонтального исполнения, трехсекционного с длиной труб 12 м. Рассмотрены шахматная и коридорная компоновка биметаллических ребристых труб с коэффициентом оребрения 19,9. Тепловой поток аппарата 3629 кВт. Сочетание методов расчета следующее: теплоотдача и сопротивление вычислялись по частным уравнениям подобия; теплоотдача – по обобщенному уравнению, сопротивление – по частному; теплоотдача – по частному уравнению подобия, сопротивление – по обобщенному уравнению; теплоотдача и сопротивление – по обобщенным уравнениям подобия. Выполнен сравнительный анализ результатов расчета и даны соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, шахматный и коридорный пучок, теплоотдача, аэродинамическое сопротивление, тепловой поток, объемный расход воздуха, мощность вентилятора.

V. B. Kuntys, A. B. Sukhotskiy, E. S. Danil'chik
Belarusian State Technological University

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS OF CALCULATION
AIR COOLER HEAT EXCHANGER ON GENERALIZED AND SPECIFIC
SIMILARITY EQUATIONS OF THERMAL- AND AERODYNAMIC RESEARCH**

Bimetallic pipes with rolled cross-section fins of aluminum are used mainly in the heat-exchange sections of the air-cooler heat exchangers of the chemical, oil refining and gas industries, as well as for heat transfer agents of power plants and only in no more than 10% of the air-cooler heat exchangers the tube bundles of the heat-exchange sections consist of tubes with coiled spiral of aluminum tape with KLM-ribs or ribs, the bases of which are rolled into the wall to a depth of 0.3–0.5 mm. In the grids of the heat-exchange sections, the finned tubes are located in a chessboard the layout characteristics of which are the transverse, longitudinal, diagonal steps and the number of transverse rows of tubes in the direction of movement of the ambient cooling air.

In the case of variant calculations of air-cooler heat exchangers, optimizing the geometrical parameters of the rib (height, step, thickness) and layout characteristics of bunch are used generalized similar-

ity equations for heat transfer and aerodynamic resistance are used that cover a wide range of variation of relative dimensionless simplexes composed of finning parameters and tube layout. But the error of the equations is in the range of $\pm 10\text{--}20\%$.

In the calculations of air-cooler heat exchangers another method is used, based on the use of specific criterial heat transfer equations and aerodynamic resistance for a given standard typical size of the finned tube and the specific values of its placement steps in the lattices of the section. The error of such equations does not exceed $\pm 5\text{--}7\%$ in the interval of operating modes of operation of the apparatus. As a rule, such equations are not always available to the planner. To obtain them, it is necessary to conduct an experimental study of the beam model by thermal modeling and processing of experimental data based on the similarity theory. This requires financial costs and not a small, experimental stand in the form of an aerodynamic tube and time.

In connection with the foregoing, four methods for calculating the air-cooler heat exchangers of natural gas of horizontal execution, a three-sectional version with a tube length of 12 m, are used in the article. The chess and corridor layout of bimetallic ribbed tubes with a fin coefficient of 19.9 are considered. Heat flow of the device is 3629 kW. The combination of calculation methods is as follows: heat transfer and resistance were calculated from the specific similarity equations; heat transfer – according to the generalized equation, resistance – according to a specific equation; heat transfer – according to the specific similarity equation, resistance – according to the generalized equation; heat transfer and resistance – according to generalized similarity equations. A comparative analysis of the calculation results is made and appropriate recommendations are given.

Keywords: air-cooler heat exchanger, chess and corridor bunch, convective heat exchange, aerodynamic resistance, heat flow, volume flow of air, fan power.

Введение. Аппараты воздушного охлаждения (АВО) конструктивно состоят [1, 2] из блока теплообменных секций, вентиляторного блока и опорной металлоконструкции. Нормативный ресурс работы 25 лет.

Поверхность теплопередачи в теплообменных секциях являются биметаллические ребристые трубы (БРТ) со спиральными накатными алюминиевыми ребрами или KLM-ребрами [2] из алюминиевой ленты толщиной 0,4 мм. При охлаждении высокотемпературных технологических продуктов с температурой большей 400°C применяются трубы, оребренные алюминиевой лентой шириной 16 мм при толщине 0,4 мм, основание которой завальцовано на глубину 0,3–0,4 мм в спиральную канавку в стенке несущей трубы. Это так называемые *I*-ребра. Коэффициент оребрения труб $\phi \approx 19\text{--}22$. Число поперечных рядов по направлению движения охлаждающего воздуха $z = 4, 6$, реже 8. Воздух принудительным однократным потоком обтекает снаружи трубы, которые скомпонованы в шахматный пучок. Длина труб в некоторых конструкциях АВО в настоящее время достигла 17 м. Материальное исполнение несущих труб преимущественно из углеродистой стали, также применяются нержавеющие стали и трубы из цветных металлов. Известно, что коридорная компоновка оребренных труб в пучке характеризуется значительно меньшим до 1,5–2,0 раза аэродинамическим сопротивлением, но и пониженной в 1,2–1,3 раза интенсивностью теплоотдачи по воздушной стороне в сравнении с соответствующими характеристиками шахматного пучка. Естественен вопрос: какая компоновка энергетически эффективна?

АВО широко применяются в химической, нефтехимической [3], нефтеперерабатывающей промышленности с большими сроками эксплуатации. Особенно физически изношенными и загрязненными снаружи оказались БРТ теплообменных секций, что вызвало снижение отводимого теплового потока. Наблюдается модернизация трубных пучков на энергетически более совершенные и замена БРТ в пучках, что обуславливает расширение производства АВО.

Крупным потребителем АВО является газовая промышленность [4], и спрос на них будет неуклонно возрастать ввиду прироста газодобычи за счет районов Крайнего Севера и Западной Сибири и составит 720–750 млрд м^3 в 2020 г. [5]. Прирост добычи газа возрастает с интенсивностью 1–2% в год, что диктуется обеспечением энергетической безопасности России. Доля природного газа в потребляемых топливно-энергетических ресурсах остается доминирующей и по прогнозам [4] в 2020 г. составит 46% ввиду его дешевизны (в 3 раза дешевле топчного мазута и в 1,6 раза – угля).

Охлаждать газ необходимо как в местах его добычи при подготовке для транспортировки по магистральным газопроводам, так и в процессе транспортировки газа по ним. Альтернативы воздушному охлаждению нет, поскольку практически все запасы воды в этих районах находятся в твердом состоянии.

В целом объем водных запасов огромен и оценивается [6] в 1,35–1,45 млрд км^3 , но пресной воды, применяемой для охлаждения, немного (около 2,5% от общего запаса). При этом запасы пресной воды распределены неравномерно, и в

местах интенсивного развития добычи газа, газоперерабатывающих заводов, нефтеперерабатывающих предприятий наблюдается ее полное отсутствие (южные регионы страны) или вода находится в твердом состоянии, непригодном для целей технологического охлаждения.

В эксплуатационных режимах АВО природного газа коэффициенты теплоотдачи по воздушной стороне изменяются в среднем $\alpha \approx 35\text{--}60 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ [1, 4], теплопередачи $k \approx 10\text{--}25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, что оказывает прямое влияние на значительные габаритно-массовые характеристики. Снижение их возможно несколькими способами, среди которых практически реализуемыми без дополнительных капитальных затрат являются увеличение коэффициента оребрения трубы и длины труб между решетками. Но оба способа к настоящему времени свои потенциальные возможности исчерпали – коэффициент оребрения доведен до значений 20–22, который близок к теплоэнергетически оптимальному и соответствует достигнутому уровню развития машиностроения в области прокатки и навивки ребер; длина труб доведена до 17 м против применяемых 10–12 м.

Некоторый резерв снижения габаритно-массовых характеристик АВО имеется в совершенствовании методов проектирования [7–9]. Проектирование теплообменной секции как основного конструктивного элемента, оказывающего определяющее влияние на энерго- и ресурсосбережение аппарата, возможно двумя методами.

При выполнении теплоаэродинамического расчета секции на заданные тепловой поток, технологические, расчетно-температурные параметры теплоносителей, типоразмер БРТ и ее компоновки в трубном пучке для вычисления коэффициента теплоотдачи и перепада давления воздуха используются известные обобщенные уравнения подобия, погрешность которых составляет 15–20%. Площадь поверхности теплопередачи секции (аппарата) равновероятно может быть как завышена, так и занижена против необходимой, что в итоге сопровождается увеличением металлоемкости или недоохлаждением продукта. И здесь для устранения непредсказуемого результата расчета вводят коэффициент запаса площади ориентировочно в 1,2–1,3 раза, что обеспечивает при эксплуатации аппарата достижения данных проектного задания. Достоинство метода на стадии проектирования очевидно – его дешевизна, так как отсутствуют финансовые издержки на получение уточненных зависимостей для расчета теплоотдачи по воздушной стороне и потери давления охлаждающего воздуха. Но какая цена неоправданных материальных и энергетических затрат в запроектированном аппарате?

Выполнение теплоаэродинамического расчета секции возможно на базе применения частных уравнений подобия для принятых к разработке конкретного типоразмера БРТ и шага расположения их в трубной решетке. Погрешность таких уравнений значительно меньше и не выходит за пределы 5–7%.

Однако в периодических научных публикациях не всегда имеются требуемые уравнения и необходимо прибегать к постановке экспериментального исследования. Процесс длительный и финансово затратный. Но этот метод гарантирует получение надежных достоверных конечных проектных результатов, при этом обеспечивает снижение металлоемкости и энергосбережения. Каким из методов целесообразно пользоваться при проектировании АВО? Дать ответ на этот вопрос – цель настоящей работы.

Основная часть. Предметом исследования являлся двухсекционный аппарат воздушного охлаждения природного газа 2АВГ–75. Вентиляторный блок включает два осевых вентилятора «Торнадо» Т–50–4 [2] с установленной мощностью двигателя 37 кВт. Частота вращения вала электродвигателя $4,2 \text{ с}^{-1}$ (250 мин^{-1}). Диаметр колеса вентилятора – 5 м. Аппарат горизонтальный, состоит из трех теплообменных секций ($z_c = 3$) с длиной БРТ в секции 12 м.

Объектом расчетно-аналитического исследования являлись теплообменные секции, состоящие из труб с накатными спиральными алюминиевыми ребрами следующих геометрических размеров, мм: $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 55,85 \times 25,85 \times 15,0 \times 2,56 \times 0,75$, где d , d_0 , h , s , Δ – соответственно наружный диаметр ребра; диаметр по основанию ребра; высота, шаг и средняя толщина ребра. Коэффициент оребрения трубы $\phi = 19,9$. Несущая оребренная труба наружного диаметра $d_n = 25$ мм с толщиной стенки $\delta = 2$ мм выполнена из углеродистой стали. Шахматная компоновка труб в решетках равносторонняя с шагом $S_1 = S_2 = 70$ мм, $S_2 = 0,866 \cdot S_1 = 60,6$ мм, при коридорной компоновке труб $S_1 = 70$ мм, $S_2 = 60,6$ мм, где S_1 , S_2 , S_2' – поперечный, продольный и диагональный шаги.

Тепловая нагрузка аппарата $Q = 3629$ кВт. Каждая секция по трубному пространству выполнена односторонней ($z_x = 1$). Обвязка секций по газу параллельная, т. е. из подводящего коллектора газ одновременно поступает во все три секции аппарата, охлаждается до требуемой температуры и выходит из них в общий отводящий коллектор. Охлаждающий воздух принудительным потоком обтекает снаружи оребренные трубы однократно. Движение теплоносителей в пределах секций перекрестно-противоточное. Количество труб в поперечном ряду секции – 27 шт.

Природный газ под давлением 7,5 МПа охлаждается от температуры на входе в секцию $t_1' = 75^\circ\text{C}$ до температуры на выходе $t_1'' = 45^\circ\text{C}$. Температура охлаждающего воздуха на входе $t_2' = 30^\circ\text{C}$.

Для режима поставленной задачи были выполнены 4 варианта расчета 2АВГ-75 по общепринятой методике [10] с соответствующими дополнениями. Целью расчетов являлось вычисление из уравнения теплопередачи расчетной площади поверхности F_p теплообмена аппарата для отвода заданного теплового потока Q , при этом коэффициент запаса площади k_z выдерживался во всех вариантах практически одинаковым, чтобы исключить его влияние на сравнительное сопоставление полученных результатов и соответствующие выводы. Также вычислялась затрата мощности вентилятором.

При шахматной компоновке БРТ для вычисления конвективного коэффициента теплоотдачи по воздушной стороне использовалось обобщенное уравнение подобия АГТУ [10]:

$$\text{Nu}_s = 0,132 C_z C_\gamma C_\psi \times \left(\frac{S_1 - d_0}{S_2' - d_0} \right)^m \left(\frac{d_0}{s} \right)^{-0,54} \left(\frac{h}{s} \right)^{-0,14} \text{Re}_s^{0,73},$$

где $\text{Re}_s = ws / \nu$ – число Рейнольдса, $\text{Nu}_s = \alpha_k s / \lambda$ – число Нуссельта; α_k – конвективный коэффициент теплоотдачи, отнесенный к полной площади оребрения; $m = (0,53 - 0,019) \phi$ – показатель степени; w – скорость воздуха в сжатом поперечном сечении пучка секции при рабочих условиях, м/с; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м К); ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с; $C_z = f(z)$ – поправочный коэффициент на число поперечных рядов z в пучке; C_γ – поправочный коэффициент на угол подъема винтовой линии спирального ребра; C_ψ – поправочный коэффициент на угол атаки ψ потоком воздуха пучка труб.

Для рассматриваемого аппарата $C_z = 1,0$; $C_\gamma = 1,0$; $C_\psi = 1,0$.

При коридорной компоновке БРТ использовали обобщенное уравнение подобия ЦКТИ им. И. И. Ползунова [11]:

$$\alpha_k = 0,174 (\lambda / l) C_z C_s \phi^{-0,7} \text{Re}_l^n, \quad (2)$$

где $l = \frac{F_{\text{тр}}}{F} d_0 + \frac{F_p}{F} \sqrt{0,7859(d^2 - d_0^2)}$ – определяющий размер оребренной трубы, м; $\text{Re}_l = w l / \nu$ – число подобия Рейнольдса; $F_{\text{тр}}$ – площадь поверхности трубы, не занятая ребрами (площадь межреберных участков на диаметре d_0), м²; F_p – площадь поверхности ребер, м²; F – полная площадь поверхности оребренной трубы, м²; C_s – коэффициент формы пучка; $n = 0,65 \phi^{-0,07}$.

При $C_s = S_2 / d_0 \geq 2$ значение $C_s = 1,0$; если $C_s < 2$, то $C_s < 1,0$ и в интервале $C_s = 1,4 - 2,0$ изменяется в диапазоне 0,86–1,0.

При расчете потерь давления перпендикулярно обтекаемых воздухом пучков из БРТ нами применены обобщенные уравнения ЦКТИ им. И. И. Ползунова [11]:

для шахматных пучков в интервале $\text{Re}_l = 2 \times 10^3 - 1,8 \cdot 10^5$ и $l / d_3 = 0,15 - 6,5$

$$\text{Eu} = 2,7 z C_z' \left(\frac{l}{d_3} \right)^{0,3} \text{Re}_l^{-0,25}, \quad (3)$$

для коридорных пучков при изменении параметров $\text{Re}_l = 4 \cdot 10^3 - 1,6 \cdot 10^5$, $l / d_3 = 0,8 - 11,5$ и $(S_2 - d_0) / (S_1 - d_0) = 0,5 - 2,0$

$$\text{Eu} = 0,26 z C_z' \left(\frac{S_2 - d_0}{S_1 - d_0} \right)^{0,68} \left(\frac{l}{d_3} \right)^{0,3} \text{Re}_l^{-0,08}, \quad (4)$$

где $\text{Eu} = \Delta P / (\rho w^2)$ – число Эйлера; ΔP – перепад давления воздуха, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $d_3 = \frac{2[s(S_1 - d_0) - 2\Delta h]}{2h + s}$ – эквивалент-

ный диаметр сжатого поперечного сечения пучка, м; $C_z' = f(z)$ – поправочный коэффициент на число поперечных рядов z в пучке.

Для рассчитываемого аппарата $C_z' = 1,0$. Погрешность расчета ΔP по (3, 4) составляет около 12%.

Частные уравнения подобия для теплоотдачи и сопротивления шахматного и коридорного пучков с принятыми для разработки АВО параметрами S_1 , S_2 и типоразмером БРТ приняты нами по экспериментальному исследованию [12], погрешность которых не превышает 4,4%.

Расчет АВО на заданный тепловой поток Q выполняется по методике [10]. Расход охлаждающего воздуха при нормальных условиях находился в результате определения точки совместной работы вентилятора с теплообменной секцией. Для этого на напорной характеристике вентилятора строим кривую зависимости потерь давления воздуха на теплообменной секции по одному из уравнений вида $\text{Eu} = f(\text{Re})$, обобщенному или индивидуальному (частному). Скорость воздуха в сжатом сечении пучка теплообменной секции назначали $w = 3, 5, 7$ и 9 м/с. Точка пересечения $\Delta P = f(V)$ теплообменной секции с характеристикой $H = f(V)$ вентилятора Т-50-4 для конкретного угла $\beta = \text{const}$ установки лопасти определяет расчетный расход воздуха V при нормальных условиях. По расчетному расходу вычисляли рабочий расход воздуха для эксплуатационного режима. Предварительным расчетом по укрупненным показателям установили, что требуемый расход воздуха обеспечивается при $\beta = 5^\circ$.

Сводные результаты расчетов АВО

Параметры	Варианты							
	Первый		Второй		Третий		Четвертый	
	Ш	К	Ш	К	Ш	К	Ш	К
Коэффициент теплоотдачи природного газа α_1 , Вт/(м ² ·К)	1426	1254	1426	1254	1426	1254	1426	1254
Приведенный коэффициент теплоотдачи от обребрения к воздуху $\alpha_{пр}$, Вт/(м ² ·К)	41,96	31,33	46,76	35,00	41,55	31,33	46,25	35,58
Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	20,28	16,73	21,34	17,72	20,18	16,78	21,23	17,95
Коэффициент запаса площади k_3	1,098	1,093	1,16	1,16	1,09	1,10	1,15	1,18
Потеря давления охлаждающего воздуха Δp , Па	133,7	103,7	133,7	103,7	138,3	101,8	138,3	101,8
Потребляемая мощность одним вентилятором $N_{в}$, кВт	33,45	35,56	33,45	35,56	33,86	35,10	33,86	35,07

Примечание. Ш – шахматное; К – коридорное.

Первый вариант расчета базировался на применении для вычисления теплоотдачи и потери давления воздуха частных уравнений подобия из [12]; во втором варианте теплоотдача вычислялась по обобщенному уравнению, а потери давления – по частному; в третьем варианте теплоотдача вычислялась по частному уравнению, а потери давления – по обобщенному; в четвертом варианте теплоотдача и потери давления вычислялись по обобщенным уравнениям.

Таким образом, при расчете АВО были применены все возможные сочетания уравнений, включенных в оба метода проектирования. Независимо от варианта расчета тепловой поток отводится при шахматном расположении труб шестирядными ($z = 6$ рядов) секциями, а при коридорной компоновке – семирядными ($z = 7$ рядов). При этом потребляемая вентилятором мощность возрастает на 6,1%. Следовательно, переход на коридорную компоновку БРТ сопровождается возросшими электропотреблением и металлоемкостью трубного пучка в $7 / 6 = 1,17$ раза. В реальности металлоемкость увеличивается еще больше.

В шахматной шестирядной секции количество труб $n_c = 162$ шт; а в аппарате – $n_a = z_c n_c = 468$ шт. Установленная площадь поверхности теплопередачи $F_y = \pi d_0 \phi L n_a = 9425$ м².

При коридорной компоновке в семирядной секции количество труб $n_c = 216$ шт., а в аппарате – $n_a = z_c n_c = 648$ шт. Установленная площадь поверхности теплопередачи $F_y = 11\,000$ м².

Расчетная площадь поверхности F_p теплопередачи вычислялась из уравнения теплопередачи, а при расчете коэффициента теплопередачи значение термического контактного сопротивления между оболочкой и основанием трубы принято равным $R_k = 1,68 \cdot 10^{-4}$ м² К / Вт. Коэффициент запаса площади $k_3 = F_y / F_p$.

Для удобства анализа результаты расчетов сведены в нижеследующую таблицу. Из таблицы видно, что при одинаковом тепловом потоке $Q = \text{idem}$ шахматная компоновка БРТ в АВО в сравнении с коридорной является ресурсосберегающей (требуется меньшее количество труб) и потребляет меньше количество электроэнергии на привод вентилятора. Расчет АВО по индивидуальным уравнениям подобия (первый вариант) полностью согласуется с данными третьего варианта, в котором для вычисления теплоотдачи используется индивидуальное уравнение, а потери давления воздуха вычисляются по обобщенному уравнению подобия. Расчеты по второму и четвертому вариантам требуют большего коэффициента запаса площади.

Заключение. При конструировании АВО следует исключительно применять шахматное расположение БРТ в теплообменных секциях. Возможно использовать для вычисления потери давления воздуха обобщенное уравнение при отсутствии индивидуального уравнения, так как конечные показатели АВО хорошо согласуются со случаем расчета по точным уравнениям подобия.

Литература

1. Шмеркович В. М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения // Обзорная информация. Сер. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение ХМ-1. М.: ЦИНТИнефтехим, 1979. 70 с.
2. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. 512 с.
3. Шмеркович В. М. Применение аппаратов воздушного охлаждения при проектировании нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. М.: ЦННИТЭнефтехим, 1971. 112 с.

4. Бахмат В. Г., Еремин Н. В., Степанов О. А. Аппараты воздушного охлаждения на компрессорных станциях. СПб.: Недра, 1994. 102 с.
5. Чекардовский С. М., Шаманаев А. В. Повышение эффективности работы охлаждения газа на компрессорных станциях // Нефтегазовый терминал: сб. науч. статей памяти профессора Н. А. Малушина. Тюмень, 2015. С. 279–281.
6. Акулов К. А., Голик В. В., Пономарев Т. Г. Очистка аппаратов воздушного охлаждения газа // Фундаментальные исследования. 2015. № 12. С. 453–456.
7. Абу-Рахма Тайсир Мохаммед Сулейман. Повышение эффективности парогазовых установок при использовании воздушного охлаждения: автореф. дис... канд. техн. наук. СПб., 2007. 22 с.
8. Абдеев Э. Р., Лобанов М. А., Шавалеев Э. И. Модернизация секций аппаратов воздушного охлаждения. Современные технологии в нефтегазовом деле – 2017 // Сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф. В 2-х т. Уфа: УГНТУ, 2017. Т. 2. С. 153–167.
9. Шарипов М. И., Абдеев Р. Г. Повышение энергоэффективности аппаратов воздушного охлаждения нефтегазовой отрасли совершенствованием методов проектирования и изготовления // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008. № 11. С. 132–135.
10. Примеры расчетов нестандартизированных эффективных теплообменников / В. Б. Кунтыш [и др.]. СПб.: Недра, 2000. 300 с.
11. Юдин В. Ф. Теплообмен поперечнооребранных труб. Л.: Машиностроение, 1982. 189 с.
12. Кунтыш В. Б., Стенин Н. Н. Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление поперечно-обтекаемых переходных коридорно-шахматных пучков из оребренных труб // Теплоэнергетика. 1993. № 2. С. 41–45.

References

1. Shmerkovich V. M. Modern designs of apparatuses of an air cooling. *Obzornaya informatsiya* [Survey information], series Chemical and Oil Refining Engineering Industry. Moscow, CNNITeneftkhim Publ., 1979, 70 p. (In Russian).
2. Kuntyshev V. B., Bessonnyy A. N. *Osnovy rascheta i proektirovaniya teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya* [Basic of calculation and design of air-cooled heat exchangers]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1996. 512 p.
3. Shmerkovich V. M. *Primeneniye apparatov vozdušnogo okhlazhdeniya pri proektirovanii neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh zavodov* [Application of apparatuses of an air cooling at designing of oil refining and petrochemical factories]. Moscow, CNNITeneftkhim Publ., 1971. 112 p.
4. Bakhmat V. G., Eremin N. V., Stepanov O. A. *Apparaty vozdušnogo okhlazhdeniya na kompressornykh stantsiyakh* [Air cooling apparatuses on compressor plants]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1994. 102 p.
5. Chekardovskiy S. M., Shamanaev A. V. Raise of overall performance of cooling of gas on compressor plants. *Neftgazovyy terminal: sbornik nauchnykh statey pamyati professora N. A. Malyushina* [Oil and gas terminal: the collector of scientific articles of memory of professor N. A. Malyushina]. Tyumen', 2015, pp. 279–281 (In Russian).
6. Akulov K. A., Golik V. V., Ponomarev T. G. Clearing of apparatuses of an air cooling of gas. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Basic researches], 2015, no. 12, pp. 453–456 (In Russian).
7. Abu-Rahma Taiysir Mohammed Suleijman. *Povysheniye effektivnosti parogazovykh ustanovok pri ispol'zovanii vozdušnogo okhlazhdeniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Raise of efficiency of steam and gas installations at air cooling use. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. St. Petersburg, 2007. 22 p. (In Russian).
8. Abdееv E. R., Lobanov M. A., Shavaleev E. I. Modernisation of sections of apparatuses of an air cooling. *Sovremenyye tekhnologii v neftegazovom dele – 2017. Sbornik trudov Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Modern production engineering in oil and gas business – 2017. Collector of works International scient.-tehn. konf.]. Ufa, 2017, vol. 2, pp. 153–167 (In Russian).
9. Sharipov M. I., Abdееv R. G. Raise of power efficiency of apparatuses of an air cooling of oil and gas branch by perfection of methods of designing and manufacturing. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [The bulletin of the Orenburg state university], 2008, no. 11, pp. 132–135 (In Russian).
10. Kuntyshev V. B., Bessonnyy A. N., Dreyser G. A. *Primery raschetov nestandardizirovannykh effektivnykh teploobmennikov* [Instances of calculations of not standardised effective heat exchangers]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2000. 300 p.
11. Yudin V. F. *Teploobmen poperechnoorebrennykh trub* [Heat exchange is transverse ribbe pipes]. St. Petersburg, Mashinostroeniye Publ., 1982. 189 p.

12. Kuntysh V. B., Stenin N. N. Convective heat exchange and aerodynamic resistance of transverse-flowed round transitive koridorno-chess bunches from ribbe tubes. *Teploenergetika* [Heat power engineering], 1993, no. 2, pp. 41–45 (In Russian).

Информация об авторах

Кунтыш Владимир Борисович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: egit@belstu.by

Сухоцкий Альберт Борисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alk2905@mail.ru

Данильчик Екатерина Сергеевна – магистрант кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: katya.156.156@gmail.ru

Information about the authors

Kuntysh Vladimir Borisovich – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: egit@belstu.by

Sukhotskiy Al'bert Borisovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alk2905@mail.ru

Danil'chik Ekaterina Sergeevna – Master's degree student, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: katya.156.156@gmail.ru

Поступила 28.02.2017

УДК 614.876:630*8

Н. О. Азовская, В. В. Перетрухин, Г. А. Чернушевич
Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ РАДИАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСА И ЕЕ ВКЛАД
В ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ НАСЕЛЕНИЯ**

В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование доз внутреннего облучения населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях. Приоритетными задачами по минимизации и преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС является реализация комплекса защитных мероприятий, направленных на снижение дозовых нагрузок на население и совершенствование системы проведения данных мероприятий. Нельзя полностью отказаться от ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях, поскольку снижается роль лесов в предотвращении миграции радионуклидов на сопредельные территории, ухудшается их состояние из-за болезней и отпада деревьев при отсутствии систематического ухода. Следует отметить, что, согласно прогнозам, к 2046 г. произойдет снижение радиоактивного загрязнения территорий Беларуси, но площадь загрязнения более 37 кБк/м² по-прежнему будет обширной – 829,3 тыс. га. В зону радиоактивного загрязнения территории по-прежнему будет попадать большая площадь лесных массивов, следовательно, проблема повышенного содержания ¹³⁷Cs в грибах будет актуальна и в 2046 г. В связи с тем, что грибы являются одним из традиционных источников питания, население вплоть до 2046 г. будет получать дополнительную дозу внутреннего облучения от их потребления.

Ключевые слова: грибы, радионуклиды, цезий-137, радиометр-дозиметр, удельная активность.

N. O. Azovskaya, V. V. Peretrukhin, G. A. Chernushevich
Belarusian State Technological University

**RESEARCH OF THE DEGREE OF RADIOACTIVE POLLUTION
OF FOOD FOREST PRODUCTS AND ITS CONTRIBUTION
TO THE LOAD POPULATION LOAD**

The article considers the main factors influencing the formation of doses of internal irradiation of the population living in areas contaminated with radionuclides. Priority tasks for minimization and overcoming the consequences of the Chernobyl catastrophe are the implementation of a set of protective measures aimed at reducing the dose loads on the population and improving the system for carrying out these activities. It is impossible to completely abandon forest management on radionuclide contaminated areas, as the role of forests in preventing radionuclides migration to adjacent territories decreases, their condition worsens due to diseases and trees falling apart in the absence of systematic care. It should be noted that, according to the forecasts of radioactive contamination of the territories of the of Belarus in 2046, there will be a decrease in surface contamination levels, but the contamination area of more than 37 kBq/m² will still be extensive – 829.3 thousand hectares. In the zone of radioactive contamination of the territory there will still be a large area of forest areas, therefore, the problem of increased ¹³⁷Cs in mushrooms will also be relevant in 2046. Due to the fact that fungi are one of the traditional sources of nutrition, the population up to 2046 will receive an additional dose of internal radiation from their consumption.

Key words: fungi, radionuclides, cesium-137, radiometer-dosimeter, specific activity.

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС заставила в корне изменить взгляды на проблемы радиационной безопасности населения. Она привела к увеличению числа людей, вовлеченных в сферу воздействия радиационных факторов на организм человека и условия его жизни. В настоящее время в результате катастрофы радиоактивное загрязнение снизилось с 23 (в 1986) до 16% (2017) лесных угодий Беларуси, в различной степени загрязнены 45 лесхозов. После распада короткоживущих радионуклидов и

включения основных долгоживущих дозообразователей ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в биологический круговорот веществ радиационная обстановка в лесах изменяется медленно, так как самоочищение происходит только за счет радиоактивного распада, продолжающегося многие десятилетия [1]. Леса прочно удерживают выпавшие радионуклиды, препятствуют выносу их за пределы территорий. В то же время загрязненный лесной фонд является источником радиационной опасности для населения (табл. 1).

Таблица 1
Загрязнение территории лесного фонда ^{137}Cs

Наименование ПЛХО	Общая площадь лесного фонда	Площадь загрязнения цезием-137, тыс. га	
		на 01.01. 2016 г.	Прогноз на 2046 г.
Брестское	1282,8	93,4	26,3
Витебское	1634,3	0,1	0
Гомельское	1818,2	826,3	536,4
Гродненское	909,6	29,8	2,2
Минское	1492,4	31,7	8,3
Могилевское	1212,8	411,9	256,1
<i>Итого</i>	8349,8	1392,2	829,3

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 [2]. Это стало возможным благодаря разработке комплекса защитных мероприятий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности населения, который включает шесть групп:

1) *организационно-технические* – 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/м² в соответствии с ТКП 240-2010 [3].

Радиационный мониторинг лесного фонда осуществляется на постоянных пунктах наблюдения, которые и образуют первичную сеть радиационного мониторинга леса (РМЛ) [4].

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. Основные задачи РМЛ – изучение динамики и факторов, влияю-

щих на накопление цезия-137 в контролируемых объектах [5].

Организация и проведение радиационного мониторинга возлагается на специалистов службы радиационного контроля, прошедших специальную подготовку в области радиационной безопасности [6]. Радиационное обследование лесосек проводится в лесных кварталах с плотностью загрязнения почв цезием-137 более 37 кБк/м² [7]. Радиационный контроль на объектах лесохозяйственного назначения, рабочих местах проводится по ТКП 250-2010 [8];

2) *технологические защитные мероприятия* включают малолюдные технологии, соблюдение сезонности при производстве лесохозяйственных работ, их механизацию, охрану лесов от пожаров [9]. Данные меры требуют дополнительных финансовых затрат. Это обусловлено тем, что работники, привлекаемые к работам в зонах радиоактивного загрязнения, должны пройти обучение по правилам радиационной безопасности, использования средств индивидуальной защиты и личной гигиены, все работающие обеспечиваются средствами индивидуальной защиты и индивидуальными дозиметрами, имеют медицинское заключение о допуске по состоянию здоровья к работе [10];

3) *ограничительные мероприятия* включают 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 РДУ/ЛХ-2001 [11] и РДУ-99 [12].

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;

4) *информационные мероприятия* включают 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;

5) *социально-экономические мероприятия* включают охрану труда, производственную санитарную, улучшение качества жизни и медико-санитарное обслуживание работающих;

6) *предупредительные защитные мероприятия* включают зонирование территорий вокруг АЭС и других радиационно-опасных объектов.

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 грибы [13–15] (особенно для критических групп населения, таких как жители загрязненных территорий, работники лесного хозяйства, охотники и члены их семей).

В настоящее время основной вклад в дозу внутреннего облучения вносят лесные пищевые продукты, главным образом грибы, являющиеся продуктом потребления сельских жителей загрязненных районов [16–18].

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 грибов. Основными параметрами, влияющими на накопление активности ^{137}Cs из почвы в грибы, являются:

- плотность поверхностного загрязнения почвы;
- физико-химические свойства почвы (содержание обменного калия, pH, концентрация обменного калия (K_2O), концентрация органического вещества (С), сумма обменных оснований (S), емкость катионного обмена (ЕКО), содержание физической глины и увлажненности почвы);
- видовая специфичность грибов [19].

Поскольку грибы 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 грибов, диапазон наиболее вероятных значений для отдельных видов грибов, выделить территории, на которых уровни загрязнения грибов будут находиться в пределах установленных нормативов, дать более точную оценку вклада грибов в индивидуальные и коллективные дозы облучения.

В лесах Беларуси произрастает около 200 типов грибов, из которых 35 хорошо известны и традиционно применяются в питании населения, наряду с грибами используются и лесные ягоды. Все исследователи выделяют грибы как самый загрязненный компонент лесного био-

геоценоза, которому свойственно поглощение цезия-137 интенсивнее по сравнению со стабильным цезием и калием.

Потребление «даров леса» в доаварийный период в среднем на одного жителя лесных регионов Беларуси составляло 4 кг/год грибов и столько же ягод. Употребление их в пищу приводит к увеличению дозы внутреннего облучения на 0,3 мЗв/год при плотности загрязнения 185 кБк/м². Очевидно, что при более высоких плотностях загрязнения эта доза будет больше. По данным исследователей [20], 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
Грибы	6–55	<0,2
Лесные ягоды	3–10	<0,2

После аварии на Чернобыльской АЭС проблема изучения накопления радионуклидов в грибах и других пищевых продуктах леса привлекла внимание исследователей. Все исследователи отмечают существенные межвидовые различия в накоплении ^{137}Cs грибами. На основе исследований предприняты попытки ранжирования грибов по величине коэффициента перехода радионуклида в их плодовые тела. Однако, при этом следует принимать во внимание очень высокую неравномерность удельной активности ^{137}Cs в плодовых телах опасных грибов, собранных даже на относительно малых площадях.

По степени загрязнения ^{137}Cs грибы условно разделяют на 4 группы:

- аккумуляторы радиоцезия: гриб польский, масленок осенний, моховики, свинушка тонкая, горькушка, колпак кольчатый (курочка). В плодовых телах этих грибов даже при загрязнении почв, близких к фоновому значению (0,1–0,2 Ки/км²), содержание ^{137}Cs может превышать допустимый уровень;
- сильнонакапливающие: груздь черный, сыроежки всех видов, зеленка, волнушка розовая, решетник, скрипица, ежовик пестрый, синяк. Сбирать грибы этой группы допускается при плотности загрязнения почв до 1 Ки/км² (37 кБк/м²) с обязательным радиометрическим контролем;

– средненакапливающие: лисичка настоящая, подберезовик, гриб белый, подосиновик, рядовка серая, подзеленка, сморчок конический, сморчок настоящий, строчок обыкновенный;

– слабонакапливающие: опенок осенний, опенок луговой, шампиньон лесной, гриб зончатый, дождевики.

Заготовку грибов, относящихся к слабо- и средненакапливающим цезий-137 группам, рекомендуется проводить в лесах с плотностью загрязнения почв до 2 Ки/км² с обязательным радиометрическим контролем.

В связи с тем, что грибы не только являются продуктами личного потребления, но и распространяются через торговые сети, для них установлены определенные нормативы. Уровни допустимого содержания ¹³⁷Cs в грибах не должны превышать 370 Бк/кг в свежих и 2500 Бк/кг – в сушеных.

Радиационный контроль грибов выполнялся дозиметрами МКС-АТ6130, МКС-АТ1117М, гамма-радиометрами РУГ-91М, РКГ-АТ1320А.

Исследования проводили в лаборатории кафедры безопасности жизнедеятельности. Вначале измеряли мощности эквивалентной дозы на приборе МКС - АТ6130 (рис. 1).

В ходе проведенных исследований с сентября по декабрь 2017 г. степени радиоактивности сухих грибов (70 образцов) из 43 районов Беларуси было выявлено, что превышение

РДУ-99 (2500 Бк/кг) наблюдается в 13 районах, преимущественно Гомельской области.



Рис. 1. МКС – АТ6130:

- 1 – мембранная панель управления
2 – жидкокристаллический индикатор (ЖКИ);
3 – светодиодный индикатор

Также наблюдается превышение степени загрязненности в грибах из Столбцовского и Несвижского лесов Минской области, Ивьевского и Новогрудского – Гродненской, в Брестской области превышение в Лунинецком районе, в Могилевской области – в Шкловском районе (табл. 3).

Таблица 3

Результаты исследований загрязненности грибов радионуклидом цезием-137 по районам

№ образца	Район	A_m Cs-137, Бк/кг	Превышение	№ образца	Район	A_m Cs-137, Бк/кг	Превышение
Гродненская область				Брестская область			
6	Дятловский	1492		1	Барановичский	102,3	
32	Щучинский	400		49	Барановичский	1031	
38	Щучинский	113		13	Барановичский	900	
36	Островецкий	97		18	Ляховичский	160	
39	Лидский	236		4	Ляховичский	1166	
55	Ивьевский	8306	в 3,3 раза	22	Брестский	2100	
57	Новогрудский	7338	в 2,9 раза	26	Кобринский	1063	
52	Новогрудский	595		35	Ивановский	381	
71	Волковысский	500		37	Столинский	617	
Могилевская область				3	Пружанский	941,4	
66	Бобруйский	689		56	Ганцевичский	254	
20	Шкловский	674		58	Малоритский	935	
68	Шкловский	7495	в 3 раза	64	Лунинецкий	7824	в 3,1 раза
70	Кричевский	67		Минская область			
Витебская область				2	Борисовский	216,3	
7	Докшицкий	83		8	Борисовский	1110	
10	Докшицкий	245		12	Молодеченский	2249	
23	Россонский	408		15	Воложинский	300	
44	Толочинский	361		19	Логойский	339	

Окончание табл. 3

№ образца	Район	A_m Cs-137, Бк/кг	Превышение	№ образца	Район	A_m Cs-137, Бк/кг	Превышение
Гомельская область				9	Мядельский	535	
11	Светлогорский	2964	в 1,2 раза	30	Смолевичский	394	
17	Мозырский	6937	в 2,8 раза	40	Пуховичский	85	
21	Чечерский	298		59	Столбцовский	984	
25	Житковичский	9995	в 4 раза	67	Столбцовский	9238	в 3,7 раза
29	Калинковичский	998		53	Стародорожский	998	
42	Петриковичский	5705	в 2,3 раза	51	Минский	2033	
50	Речицкий	7116	в 2,8 раза	24	Несвижский	3994	в 1,6 раза
47	Ветковский	16282	в 6,5 раз	60	Узденский	26	
46	Гомельский	1410		62	Держинский	1968	
54	Гомельский	4561	в 1,8 раза	63	Слуцкий	715	

Пробы грибов исследовали на гамма-радиометре РКГ-АТ1320А (рис. 2).



Рис. 2. Гамма-радиометр РКГ-АТ1320А:
1 – блок детектирования; 2 – блок обработки информации с ЖКИ; 3 – блок защиты; 4 – крышка блока защиты; 5 – ножки; 6 – измерительный сосуд

Неравномерность радиоактивного загрязнения наблюдается даже в пределах одного населенного пункта. Так, загрязнение грибов в Новогрудском районе, большинство проб оказались загрязнены менее 1000 Бк/кг, а на одном участке 7300 Бк/кг, в Гомельском районе одни образцы – 1400 Бк/кг, другие – 4500 Бк/кг, в Столбцовском районе менее тысячи и 9200 Бк/кг соответственно, в Шкловском районе 670 Бк/кг и 7500 Бк/кг. Поэтому об однородности загрязнения говорить нельзя, в каждом конкретном случае необходимо проверять степень радиоактивного загрязнения.

Больше всего радионуклиды цезия-137 содержатся в грибах из Житковичского (9995 Бк/кг) и Ветковского (16 282 Бк/кг) районов. Самые «чистые» грибы (до 100 Бк/кг) в Докшицком, Островецком, Минском, Смолевичском, Пуховичском, Узденском и Кричевском районах.

Опять же следует уточнить, что данные на одном и том же участке леса могут меняться так как загрязненность зависит от многих факторов (время сбора, вид грибов, состав насаждения и пр.).

Потребление грибов 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

$$H = kmA_sQ,$$

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/м²; Q – коэффициент перехода цезия из почвы в грибы, принят равным 0,01 м²/кг.

При хроническом потреблении загрязненных цезием-137 грибов индивидуальная доза внутреннего облучения может составить 0,43–2,33 мЗв (для примера Светлогорский район – 3000 Бк/кг и Ветковский – 16 282 Бк/кг). В соответствии с ГН № 213 «Критерий оценки радиационного воздействия» (2013 г.) [21], индиви-

дуальная предельно допустимая доза от техногенных источников, которую человек может получить за весь период жизни, составляет 70 мЗв или 1 мЗв/год. А при употреблении только грибов видно, что эта доза будет превышена.

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 грибов в год, собранных на загрязненных территориях, представлены в табл. 4.

Таблица 4
Результаты оценки ожидаемых доз за счет потребления грибов

Поверхностное загрязнение ^{137}Cs , Ки/км ² (кБк/м ²)	Доза за счет потребления грибов, 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

Из данных, приведенных в табл. 4, следует, что доза внутреннего облучения населения за счет потребления грибов может составить 2 и более мЗв в год.

Цезий во внутренних органах человека распределяется неравномерно. Уровни накопле-

ния 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 (сборанную) 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.

Литература

1. Переволоцкий А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: Институт радиологии, 2006. 255 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: Институт леса, 1999. 454 с.
3. Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения: ТКП 240-2010. Введ. 01.06.2010. Минск, 2010. 24 с.
4. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП 498-2013. Введ. 03.10.2013. Минск, 2013. 28 с.
5. Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП -499-2013. Введ. 03.10.2013. Минск, 2013. 28 с.
6. Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения: ТКП 251-2010. Введ. 28.06.2010. Минск, 2010. 24 с.
7. Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения: ТКП 239-2010. Введ. 22.02.2010. Минск, 2010. 20 с.
8. Радиационный контроль. Объекты лесного хозяйства, рабочие места. Порядок проведения: ТКП 250-2010. Введ. 28.06.2010. Минск, 2010. 27 с.
9. Правила пожарной безопасности в лесах Республики Беларусь: постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 70 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 04.02.2017, 8/31562.
10. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Минск, 2016. 16 с.

11. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей пищевой продукции лесного хозяйства (РДУ\ЛХ-2001): ГН 2.6.1.10-1-01-2001.
12. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): ГН 10-117-99.
13. Щеглов А. И., Цветнова О. Б. Грибы-биоиндикаторы техногенного загрязнения // Ежемесячный естественнонаучный журнал РАН «Природа». 2002. № 11. С. 39–46.
14. Цветнова О. Б., Щеглов А. И., Кучма Н. Д. Многолетняя динамика накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr высшими грибами // Почвоведение: Вестник Московского университета. 2004. Сер. 17, № 3. С. 43–48.
15. Зарубина Н. Е., Тришин В. В. Радионуклидное загрязнение высших грибов в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: труды Междунар. конф. (Москва, 5–6 дек. 2005 г.). М., 2005. Т. 3.
16. Роль грибов и ягод в формировании дозы внутреннего облучения населения России после Чернобыльской аварии / В. Н. Шутов [и др.] // ЗНиСО. 1998. № 2. С. 19–23.
17. Динамика радиоактивного загрязнения природных пищевых продуктов после аварии на Чернобыльской АЭС / В. Н. Шутов [и др.] // ЗНиСО. 2003 № 4. С. 9–12.
18. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на ЧАЭС // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: труды Междунар. конф., (Москва, 5–6 дек. 2005 г.). СПб. 2006. Т. 3. С. 230–239.
19. 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.
20. Байрашевская Д. А. Формирование дозы внутреннего облучения населения, употребляющего продукты загрязненных лесных экосистем. Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2005. 330 с.
21. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиенический норматив. Введ. 01.01.2013. Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2012. 232 с.
22. Памятка «Вы собираетесь в лес...». Рекомендации для населения по пользованию лесами на территории Краснопольского лесхоза / сост. Л. Н. Карбанович, Ж. И. Востокова, Н. Н. Кунцевич. Минск, 2012. 32 с.

References

1. Perevolotskiy A. N. *Raspredeleniye ^{137}Cs i ^{90}Sr v lesnykh biogeotsenozakh* [Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in forest biogeocenoses]. Gomel', Institut radiologii Publ., 2006. 255 p.
2. Ipat'yev 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. ТКР 240-2010. Radiation control. Examination of forest lands. Procedure. Minsk, 2010. 24 p. (In Russian).
4. ТКР 498-2013. Radiation monitoring of forest fund. Laying of permanent point of observation. Procedure. Minsk, 2013. 28 p. (In Russian).
5. ТКР 499-2013. Radiation monitoring of forest fund. Examination of permanent point of observation. Procedure. Minsk, 2013. 28 p. (In Russian).
6. ТКР 251-2010. Radiation control. Selection and preparation of samples of forest products. Procedure. Minsk, 2010. 24 p. (In Russian).
7. ТКР 239-2010. Radiation control. Examination of logging sites. Procedure. Minsk, 2010. 20 p. (In Russian).
8. ТКР 250-2010. Radiation control. Forestry objects, workplaces. Procedure. Minsk, 2010. 27 p. (In Russian).
9. *Pravila požarnoy bezopasnosti v lesakh Respubliki Belarus'* [Fire safety rules in the forest of the Republic of Belarus]. Minsk, 2016. 24 p.
10. *Pravila vedeniya lesnogo khozyaystva na ploshchadyakh, zagryaznennykh radionuklidami v rezul'tate Chernobyl'skoy avarii* [Rules for forest management in areas contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl disaster]. Minsk, 2016. 16 p.
11. GN 2.6.1.10-1-01-2001. Republican permissible boundaries of cesium 137 contained in wood, wood products and materials from wood non-food forest products. Minsk, 2001 (In Russian).
12. GN 10-117-99. Republican permissible limits of cesium 137 radionuclides and strontium 90 contained in food and drinkingMinsk, 1999 (In Russian).

13. Shcheglov A. I., Tsvetnova O. B. Mushrooms-bioindicators of industrial contamination. *Ezhemesyachnyy estestvenno-nauchnyy zhurnal RAN "Priroda"* [Monthly scientific journal of RAS "Nature"], 2002, no. 11, pp. 39–46 (In Russian).

14. Tsvetnova O. B., Shcheglov A. I., Kuchma N. D. Long-term dynamics of accumulation of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr by higher mushrooms. *Pochvovedeniye: Vestnik Moskovskogo Universiteta* [Soil science: of Moscow University], 2004, series 17, no. 3, pp. 43–48 (In Russian).

15. Zarubina N. E., Trishin V. V. Radionuclide contamination of higher mushrooms as a result of the accident at the Chernobyl NPP. *Trudy Mezhdunar. konf. ("Radioaktivnost' posle yadernykh vzryvov i avariyy")* [Proceedings of the International conf. ("Radioactivity after nuclear explosions and accidents")]. Moscow, 2005, vol. 3 (In Russian).

16. 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. *ZNiSO [ZNiSO]*, 1998, no. 2, pp. 19–23 (In Russian).

17. Shutov V. N., Bruk G. J., Kaduka M. V. 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).

18. Shutov V. N., Bruk G. J., Kaduka M. V. *Trudy Mezhdunar. konf. "Radioaktivnost' posle yadernykh vzryvov i avariyy"* [Proceedings of the International conf. ("Radioactivity after nuclear explosions and accidents")], 2006, vol. 3, pp. 230–239 (In Russian).

19. Perevolotskiy A. N., Perevolotskaya T. V. Predicting assessment of ¹³⁷Cs 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).

20. Bayrashevskaya D. A. *Formirovaniye dosy vnutrennego oblucheniya naseleniya, upotreblayayushchego produkty zagryaznennykh lesnykh ekosistem* [Formation of internal exposure doses of the population consuming food products of contaminated forest ecosystems]. Minsk, MGEU Publ., 2005. 330 p.

21. Health standard. Evaluation criteria of radiation exposure. Minsk, Ministerstvo zdravookhraneniya Respubliki Belarus' Publ., 2012. 232 p. (In Russian).

22. Karbanovich L. N., Vostokova Zh. I., Kuntsevich N. N. Memorandum "Vy idete v les...". *Rekomendatsii 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.

Информация об авторах

Азовская Наталья Олеговна – кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: azovskaya_natasha@tut.by

Перетрухин Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: viktor45@belstu.by

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

Information about the authors

Azovskaya Natal'ya Olegovna – PhD (Agriculture), lecturer, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: azovskaya_natasha@tut.by

Peretrukhin Viktor Vasil'yevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: viktor45@belstu.by

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

Поступила 28.02.2018

УДК 614.8-027.21; 519.2; 504:519.2

Г. И. Касперов¹, В. Е. Левкевич², В. А. Мильман³, Л. В. Бокуть²¹ Белорусский государственный технологический университет² Белорусский национальный технический университет³ Объединенный институт информатики НАН Беларуси**ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
НА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ БЕЛАРУСИ
КАК ФАКТОР РИСКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЙ**

Искусственные водоемы (водохранилища и пруды) являются источником риска возникновения гидродинамических аварий. Одним из факторов риска таких аварий являются повреждения подпорных гидротехнических сооружений (плотин и дамб), а также водосбросных и водорегулирующих. Для оценки повреждений гидротехнических сооружений проведено экспресс-обследование большинства водохранилищ Беларуси. Выявлены основные типы повреждений и дана их классификация. Отмечены наиболее распространенные повреждения. Приведены примеры повреждений гидротехнических сооружений водохранилищ. Дана общая оценка их технического состояния. Сделан вывод о целесообразности периодических экспресс-обследований водохранилищ.

Ключевые слова: искусственные водоемы, гидротехнические сооружения, гидродинамические аварии, экспресс обследования, техническое состояние, разрушение берегов.

G. I. Kasperov¹, V. E. Levkevich², V. A. Mil'man³, L. V. Bokut'²¹Belarusian State Technological University²Belarusian National Technical University³The United Institute of Informatics Problems of NAS Belarus**DAMAGES OF SUPPORTING HYDROTECHNIC CONSTRUCTIONS
ON ARTIFICIAL RESERVOIRS OF BELARUS
AS THE RISK FACTOR OF HYDRODYNAMIC FAILURES**

Artificial reservoirs (water basins and ponds) are a source of risk of arising hydrodynamic failures. One of risk factors of such failures are damages of supporting hydrotechnic constructions (dams and dikes), and also water waste and water regulating constructions. For an estimation of damages of hydrotechnic constructions express inspection of the majority of water basins of Belarus is carried out. The basic types of damages are revealed and their classification is given. The most widespread damages are noted. Examples of damages on hydrotechnic constructions on water basins are resulted. The general estimation of a technical condition of constructions is given. The conclusion is drawn on expediency of periodic express inspections of water basins.

Key words: artificial reservoirs, hydrotechnic constructions, hydrodynamic failures, the inspection express train, a technical condition, destruction of coast.

Введение. Искусственные водоемы Беларуси выполняют важные хозяйственные функции и имеют большое экологическое значение. Вместе с тем они несут опасность аварий и некоторых других негативных явлений. В статье рассматриваются результаты выполненных натурных обследований искусственных водоемов как источников опасных техногенных процессов и явлений с 2006 по 2016 г.

Основная часть. В Республике Беларусь находятся в эксплуатации 150 водохранилищ. Суммарный объем аккумулированной в водохранилищах воды составляет около 3,0 км³, площадь водного зеркала – более 800 км², протяженность береговой линии водохранилищ составляет более 1200 км. По объему водохра-

нилища делятся на малые (76,2%), небольшие (19,2%) и средние (4,6%).

Более половины малых водохранилищ (53%) имеют объем 1–2 млн м³ [1–3]. Водоемы с объемом менее 1 млн м³ относятся к категории прудов. Почти у всех водохранилищ Беларуси есть ограждающие или подпорные сооружения: земляные дамбы и плотины.

Хозяйственное назначение водохранилищ Беларуси следующее: регулирование стока, гидроэнергетика, водоснабжение населенных пунктов и предприятий, мелиорация, технологические нужды, рыборазведение, рекреация [3, 4]. Многие водохранилища используются для нескольких хозяйственных функций или изменили свое хозяйственное назначение в процессе эксплуатации.

Водохранилища являются потенциально опасными объектами, подверженными риску возникновения чрезвычайных ситуаций.

Основная опасность – это гидродинамические аварии [5], возникающие при возможных прорывах дамб и плотин. При гидродинамической аварии образуется и распространяется с большой скоростью волна прорыва, наносящая ущерб людям, строениям, материальным ценностям и природе. После прохождения волны прорыва остаются затопленными территории, а это приводит к материальному ущербу. Долгосрочные последствия гидродинамических аварий связаны с остаточными факторами затопления – переотложением наносов, загрязнением территорий, изменением природной среды [4–6]. Помимо гидродинамической аварии, на водохранилищах могут развиваться другие негативные процессы – разрушение берегов, заиление, заболачивание, загрязнение вод.

Впервые оценка водохранилищного фонда Беларуси была осуществлена Институтом водных проблем АН БССР в конце 50-х г. XX в. Под руководством М. Г. Мурашко был составлен водозащитный кадастр БССР. В последующем аналогичная работа по созданию справочника водохранилищ Беларуси проводилась в Белорусском государственном университете под руководством В. М. Широкова [1]. В начале XXI в. было выполнено очередное уточнение кадастра в ЦНИИКИВР [2]. Во всех этих обзорных исследованиях водохранилища рассматривались с точки зрения хозяйственного использования и экологии. Систематические исследования водохранилищ как опасных объектов до недавнего времени в Беларуси не проводились, хотя актуальность их не вызывает сомнений. Она подтверждается данными исследований в Российской Федерации, приведенными в монографии [7]: «малые и средние по размерам водохранилища представляют серьезную опасность, так как велика угроза прорыва их плотин при интенсивном снеготаянии и продолжительных летне-осенних осадках... Многие небольшие водохранилища мелиоративного назначения системы Минсельхоза России находятся в неудовлетворительном состоянии... Безопасность гидроузлов, особенно малых, снижается также в связи с отсутствием у большинства собственников проектной документации, что мешает оценить состояние и безопасность гидротехнических сооружений...».

Опасность аварий на водохранилищах усиливается по мере старения этих объектов. Большинство существующих водохранилищ на территории Беларуси построено с 1950 по 1980 г. За период эксплуатации гидротехнические сооружения водохранилищ подверглись старению

и износу, а капитальный ремонт был проведен только на небольшой части объектов. Отметим наиболее значимые гидродинамические аварии на территории Беларуси в текущем столетии: в 2006 г. произошел прорыв земляной плотины Воропаевской ГЭС (Поставский район Витебской области), в 2009 г. – прорыв плотины на водохранилище Бобрук в Могилевской области, летом 2010 г. – прорыв дамбы водохранилища рыбхоза «Свислочь» в Осиповичском районе Могилевской области, в августе 2011 г. после сильного дождя была прорвана плотина пруда в городе Воложине.

В рамках государственной программы научных исследований проведено систематическое обследование технического состояния гидротехнических сооружений (ГТС) водохранилищ Беларуси. В работе участвовали специалисты следующих организаций: Белорусского государственного технологического университета, Белорусского национального технического университета, Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. Всего обследованы 105 водохранилищ, а также несколько десятков прудов различного назначения. Для обследования значительного количества водных объектов при ограничениях по финансовым затратам и времени был предложен подход, условно названный экспресс-обследованием.

Экспресс-обследование предполагает обследование водохранилища группой специалистов. Проводится общая оценка состояния водохранилища, его использования по назначению. Выполняется наружный осмотр плотины, водосбросных или водопропускных сооружений, берегов водохранилища в местах примыкания к телу плотины. При этом выявляются, измеряются, описываются и фотографируются повреждения и деформации ГТС. По окончании обследования вся собранная информация заносится в специализированную базу данных.

Все повреждения и деформации, выявляемые при экспресс-обследованиях, классифицированы следующим образом: повреждения сооружений напорного фронта (дамб и плотин); водосбросных и водорегулирующих сооружений; берегов и берегозащитных сооружений. По протяженности выделяются линейные и локальные (точечные) повреждения.

К повреждениям сооружений напорного фронта следует отнести: разрушение гребня плотины и его покрытия, повреждения верхнего и низового откосов плотины. Повреждения гребня плотины чаще носят линейный характер. В случае экстремального подъема уровня воды в водохранилище повреждения

гребня плотины увеличивают вероятность перелива воды с последующим разрушением плотины. К повреждениям верхового откоса относятся размыв тела плотины, повреждения крепления откоса, вымыв грунта из-под плит крепления откоса, поломки, выбоины и смещения плит крепления, образование щелей между плитами крепления. Наиболее опасное повреждение низового откоса – это суффозионный вынос грунта, возникающий при нарушении нормальной фильтрации воды через сооружение. Повреждения откосов плотины имеют локальный либо линейный характер. Они могут привести к потере фильтрационной устойчивости плотины с последующим образованием прорана и прорыва плотины. При экспресс-обследовании рассматривается только надводная часть плотины.

Для укрепленных берегов характерны те же повреждения, что и для верховых откосов дамб, плотин – это переработка берега, разрушение элементов крепления и вынос грунта из-под крепления [8]. Разрушение берегов может носить как локальный, так и линейный характер. Весьма часто возникают повреждения на стыках, в местах примыкания плотины к бетонному водосбросному сооружению и в местах примыкания плотины к коренному берегу.

Повреждения водосбросных и водорегулирующих сооружений – это либо повреждения бетонных (железобетонных) конструкций, либо повреждения и деформации затворов. Часто наблюдаются сколы, трещины и выбоины бетонных конструкций, выход наружу и коррозия металлической арматуры. Эти повреждения носят, как правило, локальный характер. Их основная опасность заключается в возможном заклинивании затворов в тот момент, когда необходимо срочно произвести сброс определенного объема воды из водохранилища во время паводка. Последствием может быть недопустимый подъем уровня воды и перелив через гребень плотины. При экспресс-обследовании доступны для изучения только надводные части водосбросных и водорегулирующих сооружений.

Преимущества экспресс-обследований состоят в простоте, дешевизне, скорости, отсутствии надобности согласований с организацией, эксплуатирующей водохранилище. Однако часть важных аспектов технического состояния ГТС при экспресс-обследовании остается нерассмотренной. Не анализируется работа в динамике механических элементов ГТС: затворов водосбросов и водозаборов; не изучается целостность откосов плотины ниже уровня воды; затруднена или невозможна количественная оценка выноса грунта из-под плит крепления

плотины, особенно в тех случаях, в которых расхождение швов между плитами невелико либо отсутствует [9]. Для получения более полной информации о состоянии ГТС необходимо детальное обследование, которое требует значительных организационных усилий, трудозатрат и использования сложных измерительных средств и приборов.

Ниже остановимся на некоторых примерах нарушений, обнаруженных в итоге обследования технического состояния ГТС ряда водохранилищ и прудов страны.

Водохранилище Волна (Гродненская область, Волковысский район). На водохранилище работает малая ГЭС. Подножье сборномонolithicного железобетонного покрытия откосов берегов в нижнем бьефе ГЭС в результате механических воздействий водяных потоков и прогрессирования абразивных процессов имеет значительные повреждения (рис. 1). Наблюдается вынос грунта из-под железобетонных плит. Не исключается возможность обрушения конструкций берегозащиты, что приведет к необходимости остановки гидрооборудования и прекращению выработки электроэнергии. Представляет угрозу для обслуживающего персонала и иных лиц, которые могут оказаться в опасной зоне в критический момент.



Рис. 1. Повреждение креплений в нижнем бьефе на водохранилище Волна

Водохранилище Лаздуны (Гродненская область, Ивьевский район). Наблюдается частичное разрушение водосбросного сооружения шахтного типа (рис. 2).

Одна из двух шахт завалена остатками деревьев и кустов, а также другим мусором. Предположительно, разрушения могли возникнуть в период интенсивного ледохода. Очевидно, что ГТС достаточно давно эксплуатируется без планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания. Верховой откос плотины укреплен каменной отмосткой, в которой

наметились повреждения шириной до 1,5 м. Состояние водного объекта таково, что при сильных паводках имеется угроза гидродинамической аварии с последующим затоплением низлежащего населенного пункта, объектов и земель сельскохозяйственного назначения.



Рис. 2. Повреждения водосброса на водохранилище Лаздуны

Водохранилище Чигиринское (Могилевская область, Кировский район). На водохранилище работает малая ГЭС. Наблюдаются отколы штукатурки и бетона, а также обнажение арматуры устоев (бычков), разделяющих водосбросные отверстия ГЭС. Со стороны верхнего бьефа в месте примыкания коренного берега к правобережной части плотины нарушена целостность защитного крепления верхового откоса, имелись впадины глубиной 0,5 м и трещины длиной более 1 м (рис. 3).



Рис. 3. Повреждения откоса плотины на водохранилище Чигиринское

В левобережной части земляной плотины значительные повреждения верхового откоса (максимальная ширина поврежденной части

составляет более 15 м). В месте примыкания левобережной части плотины к коренному берегу производится отбор грунта для строительных целей, вследствие чего образовался карьер размерами 4×3 м, что недопустимо. Железобетонное крепление верхового откоса имеет значительные повреждения в виде просядок плит, обнажения арматуры, трещин (максимальная длина 23 м) и выноса частей плит в глубоководную часть водохранилища (максимальный размер вынесенных частей 2×3 м). Практически на всем протяжении левобережной части плотины наблюдается вынос грунта и каменной наброски из-под железобетонных плит. По гребню плотины проложена неасфальтированная дорога, вследствие чего наблюдаются просядки и выемки глубиной до 0,3 м. В местах примыкания водосброса к грунтовой плетине наблюдались трещины шириной до 0,3 м и глубиной до 1 м с выносом грунта. В нижнем бьефе за рисбермой присутствует незначительный размыв русла с выносом среднезернистого грунта.

Водохранилище Лепельское (Витебская область, Лепельский район). Наблюдается интенсивное разрушение плит крепления верхового откоса и каменной наброски в левобережной части плотины (рис. 4). Заметен размыв русла в нижнем бьефе за водобойным колодцем.



Рис. 4. Разрушение плит крепления верхового откоса на водохранилище Лепельское

Водохранилище Княжеборское (Млынокское) (Гомельская область, Ельский и Наровлянский районы). Наблюдается проседание плит берегоукрепительных сооружений и непосредственно самой конструкции автоматического водосброса, разрушение материала гидроизоляции под автоматическим водосбросом, вынос грунта из-под плит крепления откоса плотины (рис. 5).



Рис. 5. Разрушение плотины на водохранилище Княжеборское (Млынокское)

Как следствие, в 2011 г. произошла авария с разрушением плотины и водохранилище перестало выполнять свои функции. Благодаря отсутствию в непосредственной близости в нижнем бьефе гидроузла населенных пунктов при прохождении волны прорыва удалось избежать человеческих жертв и значительных материальных ущербов от затопления.

Пруд-накопитель у города Смоленичи (Минская область). Верховой откос напорной дамбы обвалования наливного водоема укреплен бетонными плитами (рис. 6). Значительная часть плит поломаны и смещены.



Рис. 6. Повреждения ГТС пруда-накопителя у города Смоленичи

Натурные обследования выявили локальные размывы тела сооружения. Водосбросные сооружения находятся в заброшенном состоянии. Водный объект представляет серьезную угрозу для жилых домов, расположенных в непосредственной близости в нижнем бьефе гидроузла.

Анализ результатов натурных экспресс-обследований водных объектов позволил выявить наиболее распространенные повреждения ГТС. Типичным является повреждение верхних откосов дамб и плотин. Регулярно наблюдается вымывание грунта из швов между плитами крепления откосов. На многих плитах

имеются трещины и разломы. На многих водохранилищах наблюдаются локальные разрушения береговых склонов вблизи плотины. Повсеместно есть нарушения целостности бетонных конструкций (бычков, балок, оголовков) водосбросных сооружений [10, 11]. Менее распространены, однако отмечены на ряде объектов такие опасные нарушения, как суффозионный вынос грунта из тела плотины, оползание грунтовых откосов в верхнем и нижнем бьефах, деформация металлических конструкций водосбросных сооружений [12, 13].

Основной причиной, вызывающей повреждение откосов плотин и береговых склонов, является комплексное воздействие природных факторов. На вытянутых в плане русловых водохранилищах главной причиной повреждений являются абразионные процессы, получающие развитие под комплексным воздействием ветровых волн, колебания уровней и течений. На относительно малых водохранилищах и прудах, где длина разгона волны менее километра, главный вклад в повреждения вносят дождевая эрозия, ледовые воздействия, изменения уровня воды. Причинами повреждений ГТС могут быть ошибки в проектировании и строительстве [9].

Помимо повреждений, непосредственно связанных с опасностью гидродинамической аварии, в ходе экспресс-обследований по возможности фиксировались другие аспекты состояния водохранилищ, в частности разрушения берегов водохранилищ, являющиеся результатом абразионных процессов. Эти разрушения наносят ущерб лесному хозяйству, препятствуют сельскохозяйственному использованию земель, могут угрожать жилью и хозяйственным постройкам. Значительные разрушения берегов отмечены на Вилейском (рис. 7), Солигорском, Чижовском, Краснослободском и других водохранилищах. Подробнее разрушения берегов и их последствия рассмотрены в источниках [3, 6, 8, 14].



Рис. 7. Разрушение берегов Вилейского водохранилища

Повреждения и деформации ГТС являются важным, но не единственным фактором риска гидродинамических аварий. Среди других факторов риска можно выделить природные явления (паводки, половодья, ледоход) и человеческий фактор (недостатки в квалификации и дисциплине обслуживающего персонала), а также возможные их сочетания, приводящие к различным сценариям развития событий. Особую опасность представляет одновременное сочетание всех факторов риска. Подробно вопросы определения вероятностей гидродинамических аварий методом дерева отказов рассмотрены в источнике [15].

Заключение. Проведены экспресс-обследования большей части водохранилищ Беларуси, установлено техническое состояние ГТС. Вы-

полнена классификация выявленных повреждений и деформаций ГТС, определены наиболее распространенные повреждения.

Большинство ГТС имеют повреждения и нуждаются в профилактических ремонтных работах, однако состояние ГТС не является критическим и не несет риска гидродинамической аварии в ближайшие 3–5 лет.

Экспресс-обследования показали свою эффективность как средство оценки состояния ГТС. Целесообразно с периодичностью 1–2 года проводить экспресс-обследования всех водохранилищ и крупных прудов для выявления опасных повреждений ГТС, что позволит повысить эффективность мер по профилактике гидродинамических аварий.

Литература

1. Широков В. М. Водохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой. Минск: Университетское, 1991. 207 с.
2. Калинин М. Ю. Водохранилища Беларуси. Минск: Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. 205 с.
3. Левкевич В. Е. Динамика берегов водохранилищ Беларуси руслового, озерного и наливного типов. Минск: Право и экономика, 2015. 216 с.
5. Гражданская защита. Энциклопедия: в 4-х т. Т. 1 (А – И) / под общей ред. В. А. Пучкова. М.: МЧС России: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 666 с.
7. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблема безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
14. Кобяк В. В. Прогноз абразионных процессов на водохранилищах с трансформированным уровнем режимом: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Белорусский национальный технический университет. Минск, 2013. 142 с.
15. Пастухов С. М. Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидроузлах Республики Беларусь, расположенных в каскадах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / Белорусский Национальный технический университет. Минск, 2011. 158 с.
6. Левкевич В. Е. Переработка берегов малых водохранилищ мелиоративных систем, ее прогноз и управление (на примере Белорусской ССР): дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. Минск, 1986. 135 с.
12. Cisler J., Kuraz V. Zarizenikesledovanistavu a pohybu v nenasycezemine. Vodni Hospodarstvi. 1971. no. 12, Ser. A. P. 341–344.
13. Bouwer H. Unsaturated flow in groundwater hydraulic. Proc. ASCE. 1964. Vol. 90. No. HY5. P. 17–34.
10. Corey A. T. Measurement of water and air permeability in unsaturated soil. Proc. Soil sci. Soc. Am. 1957. Vol. 21. P. 7–10.
11. Amar S., Dupny H. Etude stir la permeabilite des sols fins mesureeenlaboratoire. Lab. PontsChauss. Rapp. Rech. 1973. No. 23. P. 1–34.
9. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования. Гідратэхнічныя збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-3.04-169-2009. Введ. 30.12.09. Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. 45 с.
8. Аравин В. И, Нумеров С. Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. М.: Стройиздат, 1948. 225 с.
4. Лиштван И. И., Парфенок В. И., Лучков А. И. Экологические проблемы в Белоруссии и пути их научного решения // Экологические проблемы в Белоруссии. 2001. С. 111–116.

References

1. Shirokov V. M. *Vodokhranilishcha Belorussii: prirodnyye osobennosti i vzaimodeystviya s okruzhayushchey sredoy* [Reservoir of Belarus natural features and interactions with the surrounding the environment]. Minsk, Universitetskoye Publ., 1991. 207 p.
2. Kalinin M. Yu. *Vodokhranilishcha Belarusi* [Reservoirs of Belarus]. Minsk, Poligrafkombinat im. Ya. Kolasa Publ., 2005. 205 p.
3. Levkevich V. E. *Dinamika beregov vodokhranilishch Belarusi ruslovogo, ozernogo i nalivnogo tipov* [Dinamies of the banks of the reservoirs of Belarus in channel, lake and bulk types]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2015. 216 p.

4. Puchkov V. A. *Grazhdanskaya zashchita* [Civil protection]. Moscow, MChS Rossii: FGBU VNII GOChS (FTs) Publ., 2015, vol. 1. 666 p.
5. Malik L. K. *Faktyor riska povrezhdeniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Problema bezopasnosti* [Risk factors for clamage to hyaranlic structures. Problema yego]. Moscow, Nauka Publ., 2015. 354 p.
6. Kobyak V. V. *Prognoz abrazionnykh protsessov na vodokhranilishchakh s transformirovannym urovennym rezhimom*: Dis. kand. tekhn. nauk [Forecast abrasive processes in reservoirs with transformed level. Kand. Diss.]. Minsk, 2013. 142 p.
7. Pastukhov S. M. *Otsenka riska vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy na gidrouzlakh Respubliki Belarus', raspolozhennykh v kaskadakh*: Dis. kand. tekhn. nauk [Assessment of the risk of emergencies at hydrosystems of the Republic of Belarus located in cascades. Kand. Diss]. Minsk, 2011. 158 p.
8. Levkevich V. E. *Pererabotka beregov malykh vodokhranilishch meliorativnykh sistem, ee prognos i upravleniye (na primere Belorusskoy SSR)*. [Treatment of Small Reclamation Ponds Shores, Management and Forecast (as it was in BSSR) Kand. Diss]. Minsk, 1986. 135 p.
9. Cisler J. Kuraz V. Zarizenikesledovanistavu a pohybu v nenasycenezemine. *Vodni gospodarstvi*. 1971, no. 12, ser. A, pp. 341–344.
10. Bouwer H. Unsaturated flow in groundwater hydraulic *Proc. ASCE*. 1964, vol. 90, no. HY5, pp. 17–34.
11. Corey A. T. Measurement of water and air permeability in unsaturated soil *Proc. Soil sci. Soc. Am.* 1957, vol. 21, pp. 7–10.
12. Amar S., Dupny H. Etude stir la permeabilite des sols fins mesureenlaboratoire *Lab. Ponts Chauss., Rapp. Rech.* 1973, no. 23, pp. 1–34.
13. ТКР 45-3.04-169-2009. Hydraulic Structures. Construction Design Code. Minsk, Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus' Publ., 2010. 45 p. (In Russian).
14. Aravin V. I., Numerov S. N. *Fil'tratsionnyye raschety gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Leakoff Estimations for Hydraulic Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1948. 225 p.
15. Lishtvan I. I., Parphenyuk V. I., Luchkov A. I. Issues and scientific solutions of environmental problems in Belarus. *Ekologicheskiye problemy v Belorussii* [Environmental Issues in Belarus], 2001, pp. 111–116 (In Russian).

Информация об авторах

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

Левкевич Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, Республика Беларусь). E-mail: eco2014@tut.by

Мильман Виктор Абрамович – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией автоматизации ввода видеоинформации. Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: milman@newman.bas-net.by

Бокуть Людмила Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инженерная математика». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, Республика Беларусь). E-mail: blval@mail.ru

Information about the authors

Kasperov Georgiy Ivanovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kgi59@tut.by

Levkevich Victor Evgen'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Water Supply and Water Removal. Belarusian National Technical University (65-1, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eco2014@tut.by

Mil'man Victor Abramovich – PhD (Physics and Mathematics), Head of the laboratory Automation of Video Information Input. United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: milman@newman.bas-net.by

Bokut' Lyudmila Valentinovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Engineering Mathematics. Belarusian National Technical University (65-1, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: blval@mail.ru

Поступила 20.02.2018

УДК 621.934

А. Ф. Аникеенко, Т. А. Машорипова

Белорусский государственный технологический университет

**ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ СОВРЕМЕННОГО ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ Л-ДСП**

Проведен анализ существующего сверлильного инструмента, а также технологий получения отверстий в ламинированной древесностружечной плите. Рассмотрена классификация сверл, их виды и подвиды. Обозначены проблемы и особенности сверления ламинированных плитных материалов. Рассмотрены достоинства и недостатки различных конструкций сверл и их элементов, которые оказывают влияние на потребительские свойства инструмента, а также на качество и производительность процесса формирования сквозных и закрытых отверстий. Приведен пример получения качественных и некачественных отверстий с наличием сколов ламинированной поверхности, которые не допускаются при производстве мебели и других изделий из ламинированной древесностружечной плиты. Сделаны выводы и предложены пути решения проблем качественного и производительного сверления.

Ключевые слова: конструкция, совершенствование, древесностружечная плита, сверление, сверло.

A. F. Anikeenko, T. A. Mashoripova

Belarusian State Technological University

**ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE MODERN TOOL
FOR DRAWING OF LAMINATED CHIPBOARD**

The analysis of the existing drilling tool, as well as the production of holes in the laminated chipboard, has been carried out. The classification of drills of their species and subspecies is considered. The problems and features of drilling laminated board materials are described. Advantages and disadvantages of various designs of drills and their elements that affect the consumer properties of the tool, as well as the quality and productivity of the process of forming through and closed holes are considered. An example is given of obtaining high-quality and non-qualitative holes with the presence of chipped laminated surfaces that do not fall when manufacturing furniture and other products from a laminated particle board. Conclusions are made on the analyzed information and ways of solving the problems of qualitative and productive reduction are drilling.

Key words: design, improvement, particle board, drilling, drill.

Введение. В деревообработке, и в частности в мебельном производстве, неотъемлемым инструментом в технологическом процессе являются сверла по дереву. В основном на деревообрабатывающих предприятиях используются два вида сверл: сверла винтовые с конической заточкой и сверла с центром и подрезателями – центровые сверла. В современной ламинированной древесностружечной плите (рис. 1) можно выделить три основных слоя: ламинат (декоративное покрытие), покрывающий поверхность плиты, некоторое количество связующего и непосредственно сама плита [1].

Основная часть. Наиболее универсальным и распространенным видом является спиральное сверло по дереву. Оно также более рациональное. Так, наличие винтовых канавок соответствующей формы дает возможность получить различные варианты режущей части [2].

Размеры и формы режущей части спирального сверла не искажаются в результате периодических заточек. Наряду с этим спиральные

сверла обеспечивают высокую производительность и качество сверления древесины.

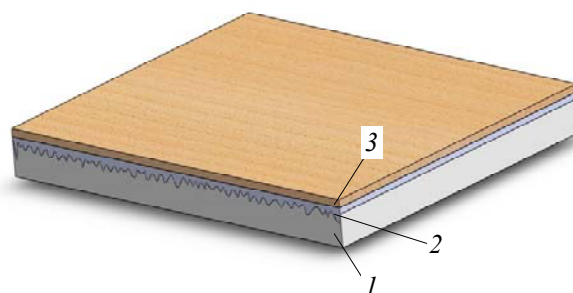


Рис. 1. Структура плиты
1 – плита ДСП; 2 – связующее; 3 – ламинат

Сверла с центром и подрезателями применяются для сверления точных неглубоких и относительно глубоких отверстий в твердой и мягкой древесине, ДСП и МДФ. С помощью центра с оптимизированной геометрией для центрирования достигается точное позиционирование

отверстия. Боковые режущие кромки с буртиками обеспечивают аккуратное разрезание волокон вблизи краев отверстия. Сверло с центром и подрезателями применяется для сверления отверстий без сколов в мягких и твердых породах древесины.

Сверла с центром и подрезателями (рис. 2) предназначены для сверления неглубоких глухих отверстий под мебельную фурнитуру. Обрабатываемый материал – древесина твердых и мягких пород. Используются сверла на сверльно-присадочных станках. Производятся в правом и левом вращении.

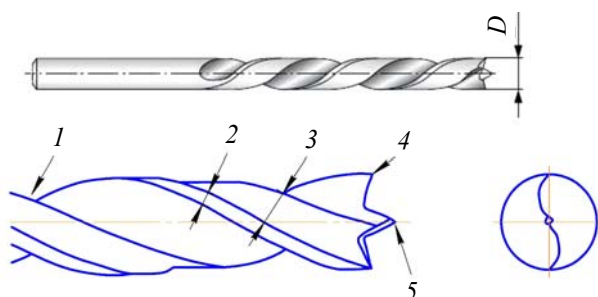


Рис. 2. Центровое сверло:
 1 – пространство для отвода стружки;
 2 – ширина фаски; 3 – ширина пера;
 4 – режущая кромка с буртиками;
 5 – центрирующее острие

Сверла с центром и подрезателями винтовые применяют для сверления точных относительно глубоких отверстий в твердой и мягкой древесине, ДСП и МДФ. С помощью центра с оптимизированной геометрией для центрирования достигается точное позиционирование отверстия. Винтовая конструкция тела сверла обеспечивает отвод стружки из зоны резания. Боковые режущие кромки с буртиками обеспечивают аккуратное разрезание волокон вблизи краев отверстия. Сверло с центром и подрезателями применяется для сверления отверстий без сколов в мягких и твердых породах древесины [2].

При сверлении плит с содержанием связующего более 12% следует применять сверла с пластинками из твердого сплава (рис. 3) [3].

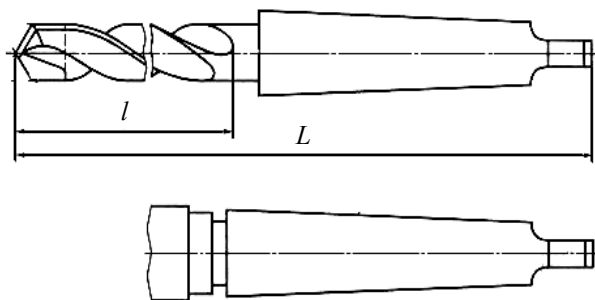


Рис. 3. Сверло с твердосплавными пластинками

Из многочисленных вариантов формы режущих элементов для сверл с пластинками из твердых сплавов принята коническая форма из-за легкости и точности заточки, наличия нормализованных пластинок и хороших эксплуатационных данных.

В иностранной практике применяют спиральные сверла с типичной для работы с деревом формой режущей части, подрезателем и направляющим центром. Однако для сверления древесных материалов и пластиков коническая заточка торца с подточкой переключки обеспечивает более высокие качество сверления и производительность труда.

Оснащение пластинками из твердого сплава существенно увеличивает стоимость дереворежущего инструмента, но за счет повышения его стойкости затраты на него, отнесенные к единице изделия, могут даже снижаться.

Сверло Форстнера. Изначально сверло Форстнера по дереву было разработано в целях продольвания отверстий с плоским дном несквозного типа в мягких и твердых породах древесины. Сейчас его применяют при работе с плитами МДФ, ДВП или ДСП, а также их всевозможными модификациями.

Итак, главными преимуществами данных сверл выступают:

- повышенная точность и скорость процесса сверления за счет центрирующей головки;
- соблюдение четкой геометрии отверстия и заданных размеров;
- наличие широкого размерного ряда;
- высокая производительность;
- получение ровных, чистых отверстий.

Сверла Форстнера (рис. 4) с твердосплавными резами в своей конструкции имеют припаянные резцы, изготовленные из твердых видов сплава. Отличаются высокой стоимостью из-за приближенности к устройству оригинальной версии сверла. Недостаток: подверженность вибрации и возможность срыва с поверхности при сверлении по причине размещения боковых резцов на небольшой части окружности

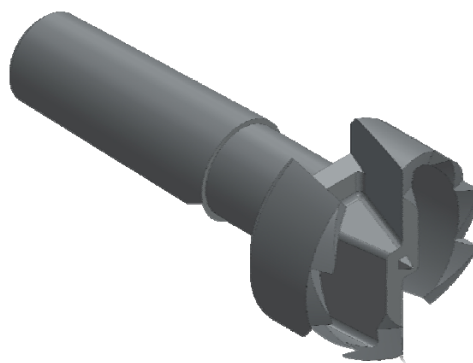


Рис. 4. Сверло Форстнера

Центровые сверла с плоской головкой состоят из следующих основных элементов: подрезателя, режущего лезвия и направляющего центра. Так как наибольшее усилие испытывает режущее лезвие, простое центровое сверло испытывает несимметричную нагрузку – это приводит к уводу и биению сверла при больших подачах. Для правильного направления сверления большое значение имеет направляющий центр [2].



Рис. 5. Центровое сверло

Для уравнивания нагрузок на правую и левую части центрального сверла (рис. 5) и главным образом для деления снимаемой режущим лезвием стружки с целью более легкого ее выхода из отверстия некоторые конструкции данных сверл выполняются с двумя подрезателями с одной стороны пера (с разными радиусами резания).

Простые центровые сверла используются для сверления сквозных и несквозных сравнительно неглубоких отверстий, так как при сверлении глубоких отверстий затруднен выход стружки.

Простое центровое сверло не лишено и ряда других недостатков. Так, срок службы сверла, определяемый допусаемым количеством переточек, сравнительно невелик. Учитывая к тому же их сложность изготовления, использовать эти сверла для массовых работ экономически менее выгодно по сравнению со спиральными или винтовыми.

Основным недостатком простых центральных сверл является засорение высверливаемого от

верстия стружкой уже при сверлении на глубину $H > 2D$. При глубоком сверлении необходим неоднократный вывод сверла из отверстия, что снижает производительность труда

При обработке ламинированной древесностружечной плиты появляются дефекты в виде сколов кромки на входе, а чаще – на выходе инструмента из материала. Это связано с тем, что древесностружечная плита является неоднородным слоистым материалом и при действии осевой силы верхние хрупкие слои пытаются оторваться, что приводит к появлению сколов кромки (рис. 6).

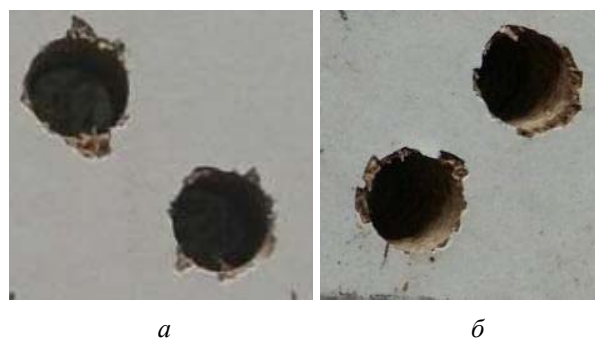


Рис. 6. Плохое качество обработки
а – качество поверхности на входе сверла;
б – качество поверхности на выходе сверла

На данный момент этот недостаток устраняют при помощи подкладок, которые представляют собой пластины из твердых древесных материалов, прижатых к плите и постоянно ориентированных относительно сверла.

Заключение. Широкое распространение в сверлильных станках получили сверла спиральные и сверла с направляющим центром и подрезателями.

Недостатком существующих конструкций сверл является обеспечение качества кромок отверстий (отсутствие сколов) на входе и выходе сверла из материала за счет уменьшения скорости подачи, что отрицательно сказывается на производительности оборудования.

Для обеспечения качества кромок отверстия (отсутствие сколов) на Л-ДСтП необходимо провести ряд экспериментов.

Литература

1. Волынский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учеб.-справочное пособие. СПб.: Лань, 2010. – 336 с.
2. Грубе А. Э. Древообрабатывающие инструменты. М.: Лесная пром-сть, 1971. 339 с.
3. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1966. 94 с.

References

1. Volynskiy V. N. *Tekhnologiya drevesnykh плит i kompozitnykh materialov* [Technology of wood stoves and composite materials]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 336 p.

2. Grube A. E. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Wood cutting tools]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1971. 339 p.

3. Tsukanov Yu. A., Amalitskiy V. V. *Obrabotka rezaniem drevesnostruzhechnykh plit* [Cutting processing of particle boards]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1966. 94 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 – магистрант кафедры 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

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 Tat'yana Aleksandrovna – Master's degree student, 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 07.03.2018

УДК 674.055:621.934(043.3)

А. А. Гришкевич, В. Н. Гаранин, Д. Л. Болочко
Белорусский государственный технологический университет

РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕФЛЕКТОРНОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА С ПОДВИЖНЫМ ДЕРЖАТЕЛЕМ НОЖА

Резание древесины и древесных материалов с использованием лезвийного инструмента является одним из основных видов обработки при изготовлении мебели, столярных изделий, получении щепы и в других производствах. Механическая обработка древесины и древесных материалов методом фрезерования занимает в этих технологических процессах одно из ведущих мест. Однако обеспечение качества и производительности оборудования с применением существующих технологий обработки древесины связано с необходимостью использования разнообразного дереворежущего инструмента и больших затрат электроэнергии.

Одним из эффективных направлений решения указанных проблем является придание инструменту возможности изменения углов резания и осевого угла при переходе с одних режимов резания на другие, что позволит уменьшить энергию на деформацию удаляемого слоя и повысить ресурс работы инструмента.

В связи с этим на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов спроектирована и изготовлена фреза, у которой есть возможность изменять углы резания и осевой угол одновременно. Это позволит уменьшить мощность на резание, повысить качество обработанной поверхности и увеличить период стойкости инструмента.

Ключевые слова: фрезерование, рефлекторная фреза, нож, стойкость, мощность, осевой угол, расчетная схема.

A. A. Grishkevich, V. N. Garanin, D. L. Bolochko
Belarusian State Technological University

THE MODES OF OPERATION OF THE REFLEX MILLING TOOL WITH THE MOBILE HOLDER OF THE KNIFE

Cutting of wood and wood materials with the using of blade tool is one of main types of processing at production of furniture, joiner's products, chip production and in other manufactures. Machining of wood and wood materials by method of milling occupies one of the leading places in these technological processes. However ensuring quality and productivity of the equipment with use of the existing technologies of processing of wood is connected with need of using various types of woodcutting tools and big expenses of the electric power.

One of the effective ways to solve these problems is to enable the tool to change the cutting angles and the axial angle when changing from one cutting mode to another. This will allow to reduce the energy for deformation of the removed layer and to increase the service life of the tool.

In this case at the department of woodworking machines and tools the mill, which has an opportunity to change the angles of cutting and an axial angles simultaneously is designed and made. It will allow to reduce power by cutting, to increase quality of the processed surface and to increase the tool life period.

Key words: milling, reflex mill, knife, durability, power, axial angle, design scheme.

Введение. Обеспечение безопасной эксплуатации фрезерного инструмента в деревообработке является важной задачей, связанной с использованием высоких скоростей во время обработки древесных материалов. Применение простых и надежных конструкций не всегда оправдано в современных условиях, поскольку деревообработчики постоянно пытаются снизить издержки производства, расширяя ассортимент выпускаемой продукции за счет увеличения возможностей эксплуатации инструмента. Над развитием таких инструментов и работают на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов. Например, в работе [1]

представлена конструкция фрезерного рефлекторного инструмента, которая состоит из корпуса и двух подвижных держателей ножа. Определенная универсальность инструмента имеет и свои недостатки, связанные с необходимостью выполнения расчетов на устойчивость во время обработки материала и разгона (торможения).

Таким образом, в представленной работе делается акцент на необходимость использования фиксирующих элементов, что подтверждается дальнейшими теоретическими и экспериментальными данными. В работе решаются следующие задачи:

1. На основании 3D-модели определяются моменты сил инерции, действующие на подвижные элементы во время разгона (торможения) инструмента.

2. Разрабатывается 3D-модель обработки материала фрезерного инструмента с рефлекторными свойствами.

3. Определяются силы, возникающие в процессе фрезерования древесины инструментом с рефлекторными свойствами.

4. Проводятся расчеты по определению закономерностей поведения инструмента с рефлекторными свойствами в режиме обработки материала.

5. Делается вывод о возможности использования разработанной 3D-модели фрезерного инструмента в режиме резания материала.

Основная часть. На рис. 1 представлена конструкция рефлекторного инструмента с изменяемыми угловыми параметрами.

Держатель ножа, на котором крепится нож, является частью шара и контактирует с правым и левым корпусами по части сферической поверхности. Ввиду этого он имеет три вращательные степени свободы относительно корпуса фрезы, что обеспечивает широкие возможности по установке ориентации ножа как для целей научных исследований, так и при использовании в производстве с целью оптимизации процессов обработки заготовок.

В работе [2] представлены данные по моментам и силам, действующим на разборный элемент рассматриваемого инструмента.

На основании ранее выполненных расчетов предлагается использование углов Эйлера с центром координат в плоскости, находящейся на оси вращения инструмента. Предлагаемая модель позволяет определить реакцию связи корпуса инструмента с подвижным сектором от условий эксплуатации и изучить особенности взаимодействия адаптивного инструмента с обрабатываемым древесным материалом.

По результатам расчета программой Mathcad были построены графики зависимостей моментов инерции от углов и сделаны следующие выводы:

1) момент силы инерции меняет свое значение при изменении углов в диапазоне от -4 до 4° ;

2) максимальный момент силы инерции достигается при осевом угле 0° и равен $580,829 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Для более точного анализа работы инструмента необходимо произвести расчет при его работе с материалом. Для этого была составлена расчетная схема данного условия работы (рис. 2).

В первую очередь необходимо определить силы, действующие на инструмент во время работы. Для этой цели используем экспериментальную установку Unimat 23EL, характеристики которой представлены в [3]. На рис. 3 приведены графики зависимостей изменения радиальной F_x , осевой F_z и касательной составляющих силы резания F_y от осевого угла φ при постановке экспериментов по фрезерованию древесины сосны.

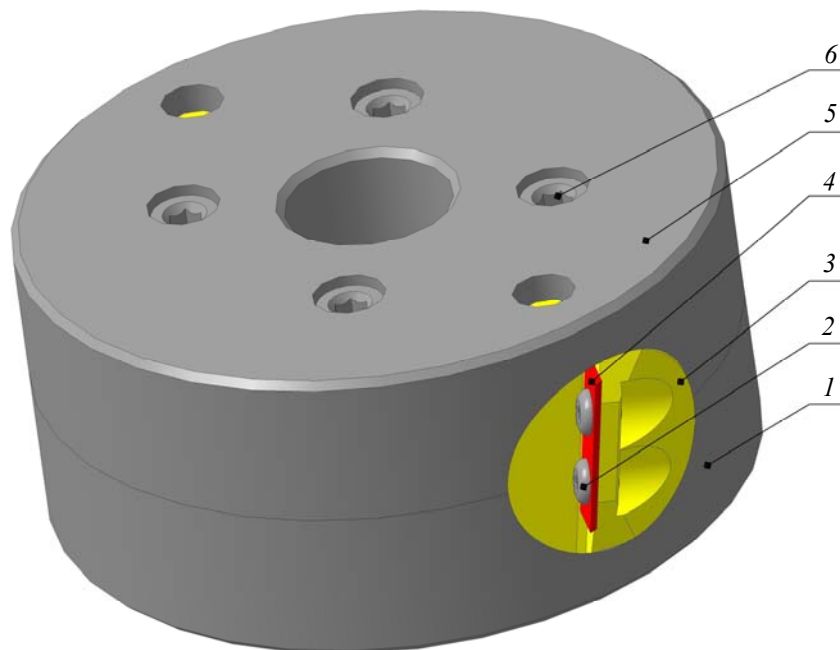


Рис. 1. Общий вид фрезы рефлекторной:

1 – корпус левый; 2 – винт для крепления ножа; 3 – держатель ножа; 4 – нож (угол заточки 40°); 5 – корпус правый; 6 – винт для фиксации частей корпуса

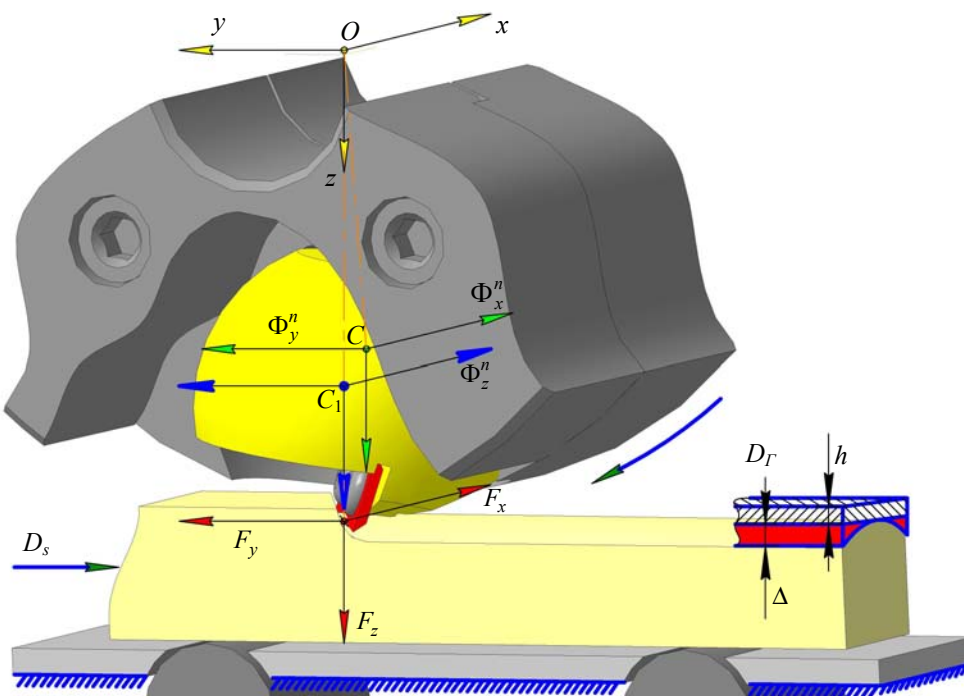


Рис. 2. Расчетная схема фрезы в режиме обработки материала

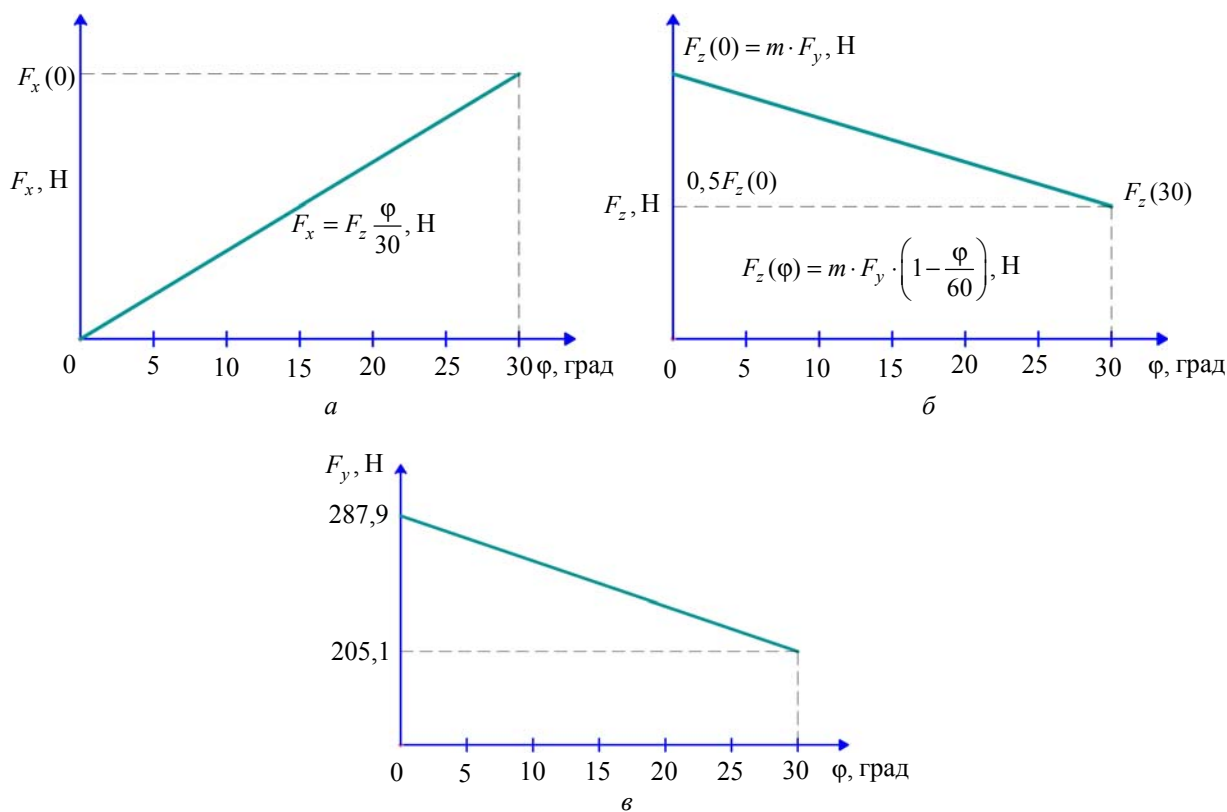


Рис. 3. Графики зависимостей сил от осевого угла φ :
 а – зависимость радиальной силы F_x, H , от осевого угла $\varphi, \text{град}$;
 б – зависимость осевой силы F_z, H , от осевого угла $\varphi, \text{град}$;
 в – зависимость касательной составляющей силы резания F_y, H , от осевого угла $\varphi, \text{град}$

В программе MathCad произведем расчет сил и моментов инерции в режиме обработки.

Координаты центра тяжести сектора в матричном виде запишем следующим образом, м:

$$x = \begin{pmatrix} 0 \\ -0,00068 \\ -0,00336 \end{pmatrix} = \overline{CC_1}. \quad (1)$$

Нормальная сила инерции, Н

$$\Phi_n = \begin{pmatrix} \Phi_x^n \\ \Phi_y^n \\ \Phi_z^n \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Момент силы инерции относительно центра масс в режиме обработки материала, Н·м

$$M_{cl}^\Phi = \Phi_n \times CC_1. \quad (3)$$

Расстояние от центра поворота сектора до точки на режущей кромки инструмента, м

$$C_1O = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,025 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Момент сил резания относительно центра масс в режиме обработки материала, Н·м

$$M_{cl}^{Fp} = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} \times C_1O. \quad (5)$$

Суммарный момент от сил инерции и сил резания, Н·м

$$M = M_{cl}^\Phi + M_{cl}^{Fp}. \quad (6)$$

В табл. 1 представлены результаты расчета программой MathCad.

При повороте ножа в осевом направлении мы сталкиваемся с тем, что нож врезается в материал не всей длиной режущей кромки, а постепенно на входе в материал и при его выходе. В связи с этим возникает необходимость определения моментов от сил резания при входе и выходе ножа из материала.

Таблица 1

Результаты расчета

При работе всего ножа в материале			
φ, град	M _x , Н·м	M _y , Н·м	M _z , Н·м
0	-4,75	0	0
5	-4,75	-0,55	0
10	-4,75	-1,0	0
15	-4,75	-1,35	0
20	-4,75	-1,6	0
25	-4,75	-1,75	0
30	-4,75	-1,8	0

На рис. 4 представлена расчетная схема для определения моментов от сил резания при входе и выходе ножа.

Рассмотрим случай, когда нож внедряется в материал.

Расстояние от центра поворота сектора до точки входа ножа в материал, м, запишем в виде зависимости (7).

Момент сил резания относительно центра поворота сегмента при входе ножа в материал находим по зависимости (5), где вместо вектора C₁O₁ будет вектор C₁O₂.

$$C_1O_2 = \begin{pmatrix} \frac{b}{2} \\ \frac{b}{2} \cdot \sin(\varphi) \\ 0,025 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

В табл. 2 представлены результаты расчета моментов сил резания в зависимости от осевого угла при входе ножа в материал.

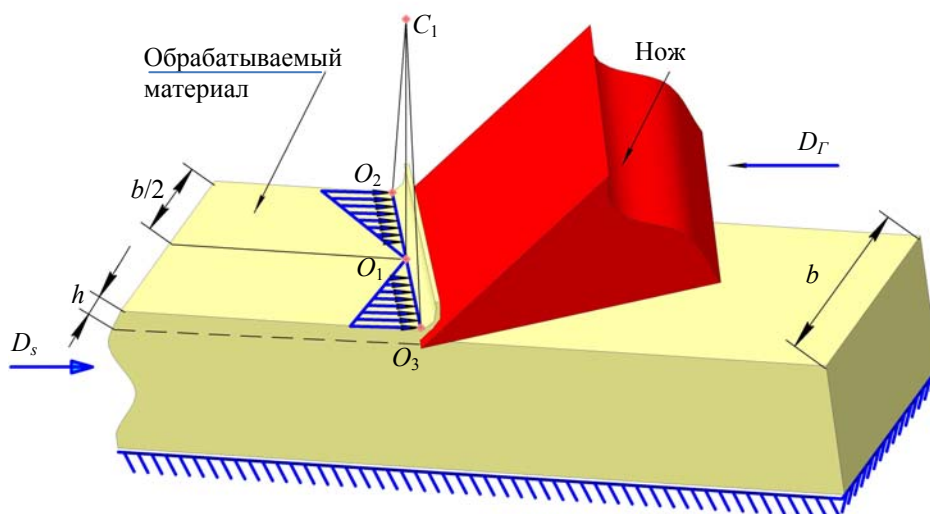


Рис. 4. Расчетная схема для определения моментов от сил резания при входе и выходе ножа в процессе обработки материала

Таблица 2

Результаты расчета

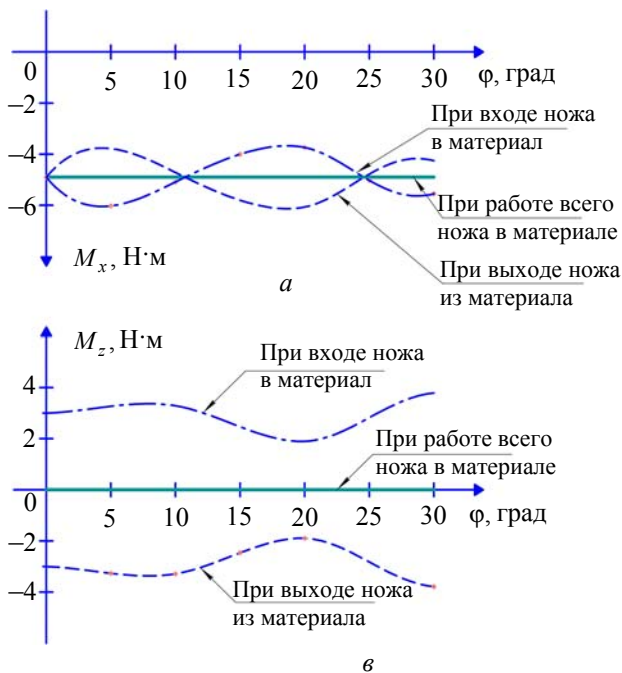
При входе ножа в материал			
φ, град	M_x , Н·м	M_y , Н·м	M_z , Н·м
0	-4,75	1,44	2,88
5	-6,017	0,77	3,091
10	-5,404	0,2	3,097
15	-4,05	-0,27	2,53
20	-3,875	-0,64	2,3
25	-4,86	-0,91	2,97
30	-5,46	-1,08	3,59

Рассмотрим другой случай, когда нож выходит из материала.

Расстояние от центра поворота сектора до точки выхода ножа из материала запишем в виде (8), м:

$$C_1O_3 = \begin{pmatrix} \frac{b}{2} \\ -\frac{b}{2} \cdot \sin(\varphi) \\ 0,025 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Момент сил резания относительно центра поворота сегмента при входе ножа в материал



находим по зависимости (5), где вместо вектора C_1O_1 будет вектор C_1O_3 .

Суммарный момент от сил инерции и сил резания при входе и выходе ножа из материала определяем по зависимости (6).

В табл. 3 представлены результаты расчета моментов сил резания в зависимости от осевого угла при выходе ножа из материала.

Таблица 3

Результаты расчета

При выходе ножа из материала			
φ, град	M_x , Н·м	M_y , Н·м	M_z , Н·м
0	-4,75	-1,44	-2,88
5	-3,486	-1,87	-3,091
10	-4,1	-2,2	-3,097
15	-5,454	-2,43	-2,53
20	-5,628	-2,56	-2,3
25	-4,64	-2,59	-2,97
30	-4,04	-2,52	-3,59

Для анализа результатов расчета построим графики зависимостей моментов сил резания от осевого угла для трех случаев работы ножа (рис. 5).

Проанализировав графики зависимостей моментов сил резания от осевого угла, видим, что максимальный момент составляет 6 Н·м.

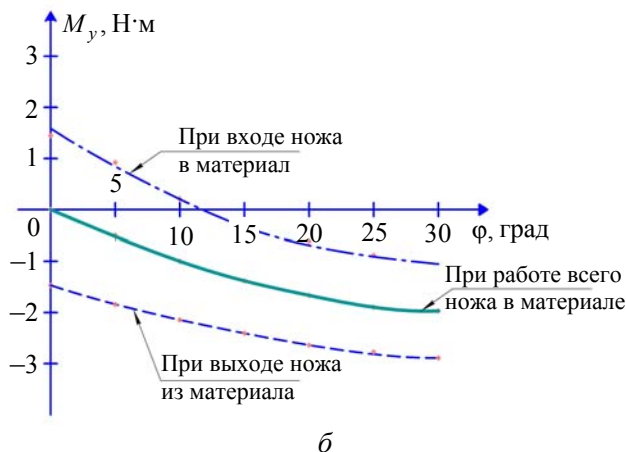


Рис. 5. Графики зависимостей моментов сил резания от осевого угла:

- а – зависимость момента M_x , Н·м, от осевого угла φ , град;
- б – зависимость момента M_y , Н·м, от осевого угла φ , град;
- в – зависимость момента M_z , Н·м, от осевого угла φ , град

Выводы. Моделирование процесса механической обработки материала фрезерным инструментом с ножом, имеющим прямолинейную режущую кромку, показывает на несущественное влияние площади снимаемого профиля на силу резания при повороте осевого угла λ . Снижение касательной составляющей силы резания при увеличении λ с 0 до 30° значительно превышает ее рост при одновременном увеличении площади снимаемого профиля. Дальнейшее увеличение угла (выше 30°) не ведет к уменьшению мощности. Это связано с тем, что при осевом повороте ножа увеличивается площадь поперечного сечения стружки, так как поверхность обработанной заготовки приобретает криволинейную форму.

1. Теоретические расчеты модели взаимодействия плоского ножа с обрабатываемым материалом показали работоспособность фрезы с рефлекторными свойствами.

2. Сравнивая моменты во время разгона (торможения) инструмента (580 Н·м) и во время обработки материала (6 Н·м), можно говорить о том, что оценку требуемых условий фиксации подвижных элементов с корпусом инструмента нужно вести исходя из условия разгона (торможения), так как при этом режиме работы момент сил достигает наибольшего значения.

3. Предлагаемые 3D-модели фрезерования древесных материалов инструментом с прямыми ножами возможно применять в расчетах при конструировании и эксплуатации инструментов.

Литература

1. Гришкевич А. А., Аникеенко А. Ф., Гаранин В. Н. Особенности фрезерного сборного инструмента с изменяемыми углами: передним и наклона режущей кромки // Труды БГТУ. 2014. № 2. Лесная и деревообработка. пром-сть. С. 175–177.
2. Гришкевич А. А., Вихренко В. С., Гаранин В. Н., Аникеенко А. Ф. Расчет параметров адаптивного фрезерного инструмента по разработанной 3D-модели // Труды БГТУ. 2017. № 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 372–377.
3. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания. Минск: БГТУ, 2014, 90 с.

References

1. Grishkevich A. A., Anikeenko A. F., Garanin V. N. Features of the milling combined tool with changeable corners: to lobbies and an inclination of the cutting edge. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 175–177 (In Russian).
2. Grishkevich A. A., Vikhrenko V. S., Garanin V. N., Anikeenko A. F. Using the 3D model of the mill with adaptive properties for the analyzer of the operating conditions of the tool. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 372–377 (In Russian).
3. Grishkevich A. A., Garanin V. N. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravleniye protsessami rezaniya* [Mechanical processing of wood and wood materials. Control of cutting processes]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 90 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

Гаранин Виктор Николаевич – 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

Болочко Дмитрий Леонидович – магистрант кафедры 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

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

Garanin Victor Nikolaevich – 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

Bolochko Dmitriy Leonidovich – Master's degree student, 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 07.03.2018

УДК 674.05:631.06

А. А. Гришкевич, О. И. Морозова, В. Т. Швед
Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА
И ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЕРИОДА ЕГО СТОЙКОСТИ**

В повышении производительности и эффективности использования деревообрабатывающего оборудования важное значение имеет качество подготовки дереворежущего инструмента к работе, в том числе и шлифовального.

При работе на деревообрабатывающем оборудовании в процессе шлифования древесины и древесных материалов приходится сталкиваться с проблемой потери режущей способности дереворежущего инструмента в результате заполнения пространства между зернами продуктами резания, что в значительной мере влияет на производительность процесса, увеличение энергопотребления и ухудшение качества обработанной поверхности.

В работе представлены результаты исследований влияния режимов резания (скоростей резания и подачи, припуска на обработку) на полную и полезную мощность. Установлено, какие из режимов не рекомендуется применять при шлифовании ввиду того, что на поверхности обработанного материала появлялись прижоги в виде темно-коричневых и черных пятен, что свидетельствует об уменьшении производительности инструмента до критической величины и полной потере его режущей способности.

Рассматривается вариант возможного увеличения периода стойкости шлифовальной ленты, и, как следствие, производительности процесса. Предложено устройство по удалению продуктов резания с пространства между зернами шлифовальной ленты.

Ключевые слова: шлифование, шлифовальная лента, стойкость, производительность, абразив, очистка, устройство.

A. A. Grishkevich, O. I. Morozova, V. T. Shved
Belarusian State Technological University

**RESULTS OF RESEARCHES OF INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL
THE PINE WOOD GRINDING MODES ON PRODUCTIVITY OF THE TOOL
AND THE WAY OF INCREASE IN THE PERIOD OF HIS FIRMNESS**

In increase in productivity and efficiency of use of the woodworking equipment quality of training of the woodcutting tool to work including grinding is important.

During the work on the woodworking equipment when grinding wood and wood materials it is necessary to face a problem of loss of the cutting ability of the woodcutting tool as a result of filling of space between grains cutting products that considerably influences the process productivity, increase in energy consumption and deterioration of the processed surface.

In the real work results of researches of influence of the modes of cutting (speeds of cutting and giving, an allowance for processing) on full and useful power are presented. It is established what of the modes aren't recommended to be used when grinding in view of the fact that on the surface of the processed material there were prishog in the form of dark brown and black spots that demonstrates reduction of productivity of the tool up to the critical size and full loss of his cutting ability.

In article the option of possible increase in the period of firmness of a sanding belt, and, as a result, process productivities is considered. The device on removal of products of cutting from space between grains of a sanding belt is offered.

Key words: grinding, grinding belt, durability, productivity, abrasive, cleaning, device.

Введение. В силу ряда особенностей (непостоянного большого количества участвующих в резании зерен-резцов, неупорядоченности геометрии зерен-резцов и срезаемых ими слоев) шлифование следует рассматривать как специфический процесс резания, к описанию которого не могут быть непосредственно применены закономерности обычного лезвийного

резания [1]. Поэтому дальнейшее изучение факторов, влияющих на выходные (оценочные) показатели процесса шлифования (силы резания, мощность, качество обработанной поверхности), в основном связано с экспериментальными исследованиями. Актуальной остается и задача увеличения периода стойкости шлифовального инструмента (шлифовальной шкурки),

следствием решения которой является увеличение производительности процесса и ресурсосбережение. Это возможно за счет очистки шлифовальной ленты в процессе ее работы, что улучшит режущие характеристики, а следовательно, увеличит срок эксплуатации.

Однако использование для очистки ленты воздушных сопел, применяемых в базовой комплектации станка, не обеспечивает достаточной очистки, так как мощность их невелика, а удаление остатков продуктов резания требует больших усилий для отделения их от основы [2].

Основная часть. Количество активных, т. е. взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью, зерен зависит от зернистости инструмента, степени округления абразивных зерен, площади контакта с обрабатываемым материалом [3]. Известны ранее проводимые экспериментальные исследования по изучению влияния касательной составляющей силы резания при шлифовании древесины и древесных материалов на мощность резания путем статического нагружения на материал шлифовальной шкуркой (рис. 1) [4].

Исходя из данных, полученных в результате эксперимента, сделан вывод, что при увеличении давления касательная составляющая силы увеличивается, это связано в первую очередь с увеличением силы трения при взаимодействии древесины с зернами шлифовальной ленты, а также с заполнением пространства между зернами остатками продуктов резания, которые в результате взаимодействия с обрабатываемым материалом приводят к увеличению сил трения, а следовательно, тем самым повышают мощность на резание.

Следует отметить, что эксперимент проведен в *статическом* режиме шлифования с целью определения (выделения) силы резания,

приходящейся на деформацию обрабатываемого материала.

Учитывая ранее полученные данные в работе [4], авторами были проведены экспериментальные исследования по изучению режимов шлифования древесины сосны в реальном *динамическом* режиме на мощность резания и производительность инструмента.

Для проведения эксперимента использовалась фрезерно-шлифовальная машина Bulldog FRC 910, предназначенная для шлифования натуральной древесины, древесно-пластиковых композитов, плитных материалов (ДСП, ДВП, МДФ, фанеры и др.), а также некоторых видов пластика. В эксперименте применялся калибровально-шлифовальный узел машины (рис. 2).

Поверхность вала обрешинена, и на ней расположены спиральные пазы. Регулирование вала по высоте (положения 1 и 2 на корпусе узла поз. 2) на необходимую величину припуска, равного 0,2 и 0,3 мм, удаляемого за один технологический цикл, осуществляется при помощи установленного эксцентрика, который управляется с сенсорной панели; опора узла – поз. 3. Замена шлифовальной ленты производится с помощью рычага, который регулирует положение верхнего направляющего вала.

В движение калибровальный узел приводится при помощи электродвигателя переменного тока мощностью 11 кВт и поликлиноремной передачи. Шлифовальный калибровальный узел оснащен механизмом осцилляции. Осцилляция шлифовальной ленты управляется оптоэлектронным способом, контролирующей датчик работает с тремя инфракрасными лучами: средний осуществляет управление осцилляцией, крайние (правый и левый) выполняют функцию конечных выключателей. Частота осцилляции колеблется от 30 до 60 импульсов в минуту.

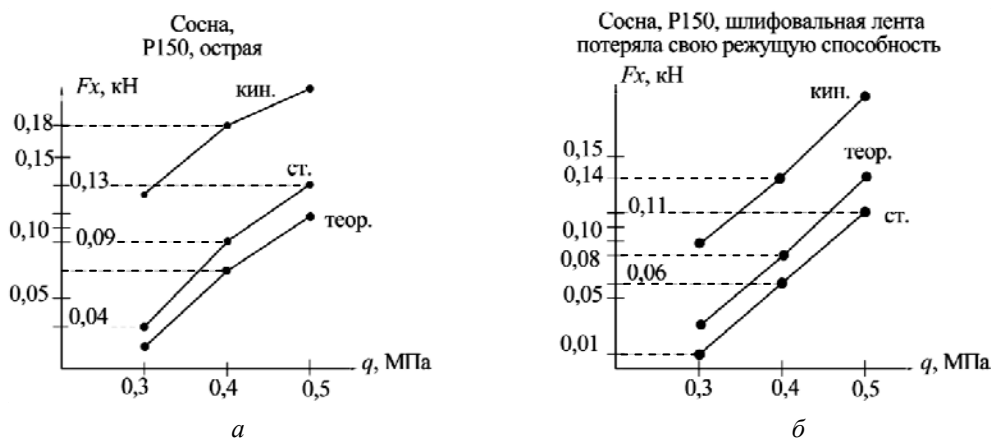


Рис. 1. Зависимость влияния зернистости шлифовальной шкурки и удельного давления на касательную составляющую силы резания при шлифовании древесины сосны: а – P150, острая; б – P150, лента потеряла свою режущую способность

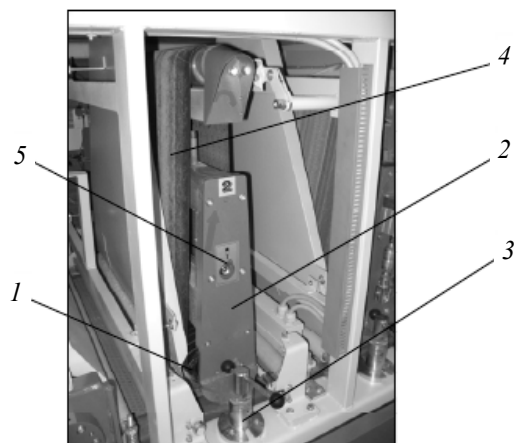


Рис. 2. Калибровально-шлифовальный узел:
1 – вал; 2 – корпус; 3 – опора узла;
4 – шлифовальная лента;
5 – регулировка положения вала

Процесс задания режимов шлифования (рис. 3) и снятия результатов [5]:

1) на сенсорном экране управления фрезерно-шлифовальным станком высота положения стола по отношению к окружности шлифования устанавливается нажатием на соответствующую ячейку 1 экрана, и на распложенную справа кнопку «Подтвердить»;

2) в ячейку 2 на сенсорном экране устанавливается скорость подачи, при проведении эксперимента скорость подачи меняется от 4 до 8 м/мин;

3) кнопка 3 предназначена для включения фрезерного вала;

4) включается калибровально-шлифовальный узел 6 нажатием на кнопку 7 на сенсорном экране. Кнопка 7 загорается оранжевым цветом, а по истечении 10 с станет зеленой, что свидетельствует о номинальном режиме работы электродвигателя;

5) включается механизм подачи нажатием на кнопку 4 сенсорного экрана. При этом начнется движение ленты конвейера с установленной ранее скоростью подачи;

6) на рабочий стол подается заготовка и начинается процесс обработки;

7) остановка осуществляется нажатием на кнопку 5.

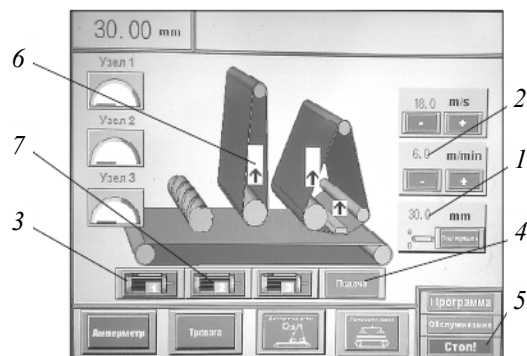


Рис. 3. Расположение ячеек управления на сенсорном экране:

- 1 – настройка припуска;
- 2 – задание скорости подачи;
- 3 – включение 1-го двигателя;
- 4 – включение подачи; 5 – остановка станка;
- 6 – калибровально-шлифовальный узел;
- 7 – включение калибровально-шлифовального узла

В то время как заготовка обрабатывается калибровально-шлифовальным узлом, от установленного на электродвигателе датчика идет сигнал на персональный компьютер и при помощи программного обеспечения происходит измерение потребляемой мощности.

Панель параметров программного обеспечения (рис. 4) позволяет вносить любую текстовую информацию, которая будет дополнять или пояснять данные при формировании отчета [5].



Рис. 4. Панель программного обеспечения

Отчет			
HOUFEK BULLDOG BRISK FRC 910.			
2.02.2018 14:43:39			
	Обрабатываемое изделие	Параметры ШГ1	Параметры ШГ2
2	Материал Сосна	зернистость 150	зернистость 150
3	Ширина 150	скорость резания 18 м/с	скорость резания 18 м/с
4	Толщина 20	давление 4 атм	давление 4 атм
5	Влаж 10	скорость подачи 4 м/мин	скорость подачи 4м/мин
6	напр. волокна вдоль	порода Сосна	порода Сосна
7			
8			
9	Время	Мощность ШГ1, кВт	Мощность ШГ2, кВт
10	14:43:22	0,77	0,00
11	14:43:23	0,79	0,00
12	14:43:24	0,78	0,00
13	14:43:25	1,47	0,00
14	14:43:26	1,92	0,00
15	14:43:27	1,93	0,00

Рис. 5. Отчет

Дополнительные пояснения можно вносить и после непосредственных измерений перед нажатием на кнопку «Отчет» панели анимации. Зона управления измерением параметров позволяет задавать интервал измерения (в секундах, например 5 с), дискретность (шаг) измерений, отображает время начала и окончания измерений. Кнопка «Измерение» на панели анимации запускает регистрацию параметров. В процессе измерения осуществляется индикация времени до окончания процесса регистрации выходной мощности. Во время измерения можно изменять параметр «Интервал измерения». Цветные стрелочные индикаторы отображают текущие мгновенные значения потребляемой мощности электродвигателем калибровально-шлифовального узла;

8) нажать кнопку «Измерение» на панели программного обеспечения;

9) по окончании измерения генерируется отчет (рис. 5). Для этого необходимо нажать на кнопку «Отчет». Откроется окно с отчетом в виде текстового файла;

10) после просмотра отчет сохраняется. Для этого необходимо выбрать команду «Сохранить» на панели инструментов, выбрав нужный формат отчетного документа, нажать «ОК», выбрав директорию и обозначив имя файла. Нажать кнопку «Сохранить».

Режимы для проведения эксперимента: скорости резания и подачи, номер зернистости шлифовальной ленты, параметры заготовки были выбраны исходя из того, какие наиболее используются на деревообрабатывающих предприятиях.

Эксперимент состоял из двух частей. При проведении первой части (при каждом режиме

шлифование производилась новой частью ленты) были измерены мощность холостого хода $P_{х.х}$, кВт и мощность рабочего хода $P_{р.х}$, кВт, а также рассчитана полезная мощность шлифования $P_{пол}$, кВт. Результаты первого этапа эксперимента представлены в виде табл. 1. По итогам эксперимента были построены графики зависимости полезной мощности $P_{пол}$, кВт, от длины обрабатываемого материала, м пог. График зависимости по результатам первого этапа эксперимента представлен на рис. 6, а график зависимости по результатам второго этапа эксперимента – на рис. 7.

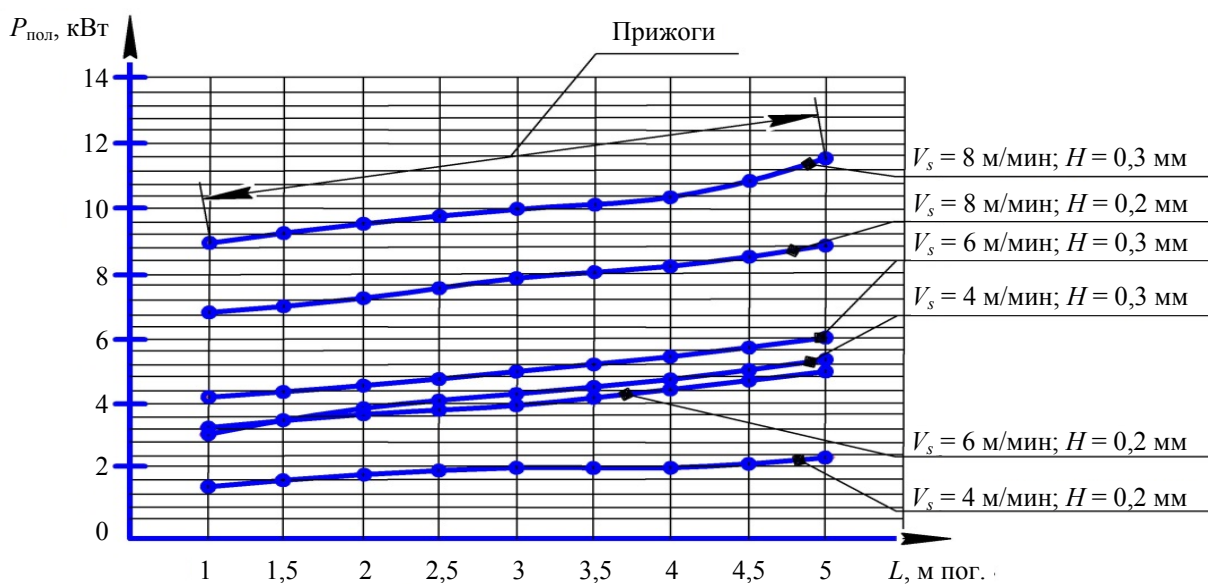
Вторая часть эксперимента заключалась в измерении потребляемой мощности при шлифовании материала определенной длины погонных метров, т. е. не новым инструментом, как в предыдущем случае, а постепенно теряющей свою режущую способность лентой. При изменении технологических режимов (скорости подачи V_s , припуска H) шлифовальная лента не менялась. Результаты второго этапа эксперимента представлены в виде табл. 2.

Как показано на графике (рис. 6), построенном по данным первого этапа эксперимента, где каждый режим обработки воспроизводился острым абразивным зерном ленты, увеличение скорости подачи до $V_s = 8$ м/мин и припуска на обработку $H = 0,3$ мм ведет к увеличению полезной мощности с $P_{пол} = 8,96$ кВт до $P_{пол} = 11,52$ кВт. При этом на поверхности материала образовались прижоги за счет больших сил трения между обрабатываемым материалом и оставшимися продуктами резания в пространстве между зернами ленты, что связано с неэффективностью работы базовой системы аспирации.

Таблица 1

Результаты первого этапа эксперимента

Зернистость	P150					
V_s , м/с	18	18	18	18	18	18
V_s , м/мин	4	4	6	6	8	8
Порода	Сосна					
Припуск h , мм	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
Ширина b , мм	150	150	150	150	150	150
Длина l , мм	1000					
Мощность х. х. $P_{хол}$, кВт	0,92	0,85	0,91	0,88	0,85	0,91
	0,95	0,88	0,85	0,83	0,87	0,83
	0,89	0,82	0,95	0,92	0,88	0,82
	0,92	0,89	0,84	0,81	0,82	0,87
	0,87	0,88	0,88	0,94	0,81	0,86
Потребляемая мощность $P_{рез}$, кВт	2,34	3,96	4,24	5,10	7,70	9,87
	2,72	4,53	4,54	5,36	8,15	10,35
	2,84	5,02	4,97	5,86	8,76	10,84
	2,96	5,57	5,35	6,22	9,05	11,26
	3,15	6,13	5,98	6,97	9,69	12,38
Полезная мощность $P_{пол}$, кВт	1,42	3,11	3,33	4,22	6,85	8,96
	1,77	3,65	3,69	4,53	7,28	9,52
	1,95	4,2	4,02	4,94	7,88	10,02
	2,04	4,68	4,51	5,41	8,23	10,39
	2,28	5,25	5,1	6,03	8,88	11,52
Примечания						Прижоги

Рис. 6. График зависимости полезной мощности $P_{пол}$, кВт, от длины обрабатываемого материала, м пог., по результатам первого этапа эксперимента

Анализ графика зависимости полезной мощности $P_{пол}$, кВт, от длины обрабатываемого материала L , м пог. по результатам второго этапа эксперимента (рис. 7), где обработка на всех режимах производилась лентой, постепенно теряющей свою режущую способность, показывает, что при скорости подачи $V_s = 8$ м/мин и припуске на обработку $H = 0,2$ мм начинается обугливание материала (прижоги). При

этом полезная мощность заметно выше чем полезная мощность по результатам первого этапа эксперимента при таком же режиме и составляет $P_{пол} = 10,25$ кВт. При скорости подачи, равной $V_s = 8$ м/мин, и припуске на обработку $H = 0,3$ мм, полезная мощность стремительно возрастает от $P_{пол} = 11,12$ кВт до $P_{пол} = 13,20$ кВт с увеличением длины обрабатываемого материала.

Таблица 2

Результаты второго этапа эксперимента

Зернистость	P150					
V_s , м/с	18	18	18	18	18	18
V_{s2} , м/мин	4	4	6	6	8	8
Порода	Сосна					
Припуск h , мм	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
Размеры						
Ширина b , мм	150	150	150	150	150	150
Длина l , мм	1000					
Мощность х. х. $P_{хол}$, кВт	0,93	0,86	0,90	0,88	0,85	0,92
	0,92	0,88	0,89	0,85	0,83	0,83
	0,9	0,85	0,86	0,90	0,90	0,85
	0,91	0,86	0,86	0,88	0,83	0,87
	0,91	0,88	0,87	0,90	0,75	0,81
Потребляемая мощность $P_{рез}$, кВт	2,45	4,90	5,24	5,91	9,56	10,02
	2,75	5,64	5,54	6,36	9,74	10,30
	2,88	6,10	5,83	6,97	10,56	11,12
	2,98	6,41	6,05	7,57	10,63	12,32
	3,10	6,97	6,48	7,92	11,11	13,56
Полезная мощность $P_{пол}$, кВт	1,52	4,04	6,34	8,03	10,25	11,12
	1,83	4,76	6,65	8,51	10,34	11,47
	1,98	5,25	6,97	9,07	10,66	12,27
	2,07	5,55	7,19	9,69	10,8	12,45
	2,19	6,09	7,61	10,02	10,96	13,20
Примечания					Прижоги	Прижоги

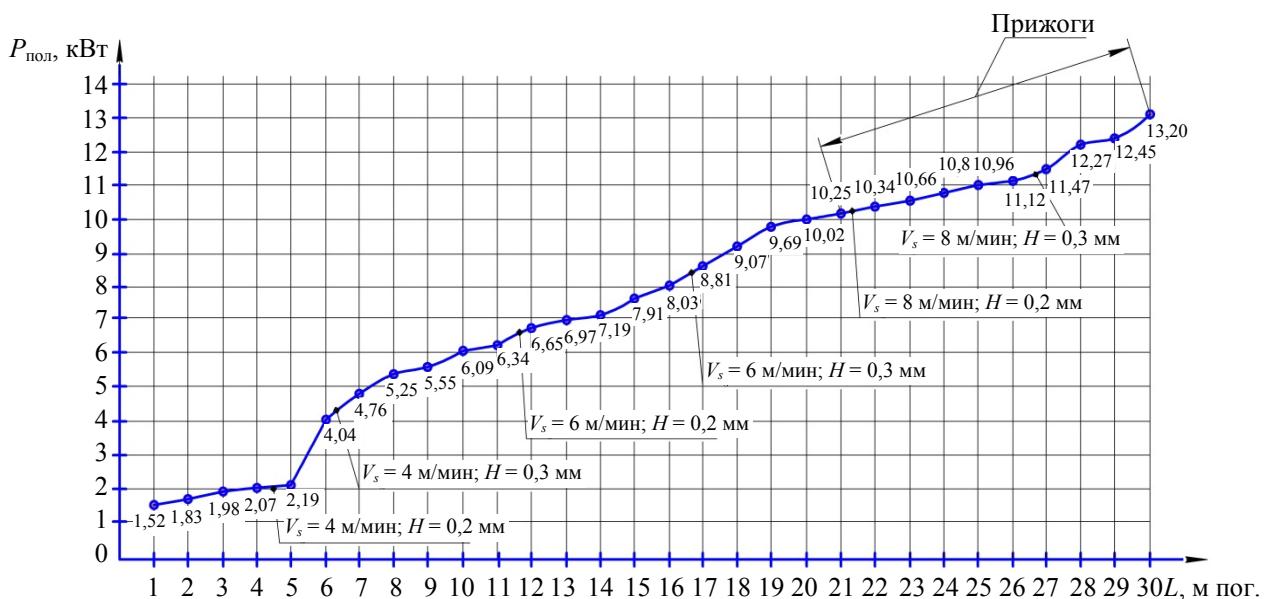


Рис. 7. График зависимости полезной мощности $P_{пол}$, кВт, от длины обрабатываемого материала, м пог., по результатам второго этапа эксперимента

Из полученных результатов следует, что сила трения между продуктами резания и поверхностью шлифуемого материала, возникающая в результате недопустимой величины заполнения пространства между зернами, оказывает существенное влияние на увеличение полезной мощности.

Предлагается механизм очистки шлифовальной ленты от остатков продуктов ре-

зания, который превосходит предыдущие конструкции по качеству удаления и эффективности.

Суть его заключается в удалении продуктов резания с поверхности шлифовальной ленты во время ее работы путем механического воздействия (ударами) на нее с рабочей стороны (рис. 8).

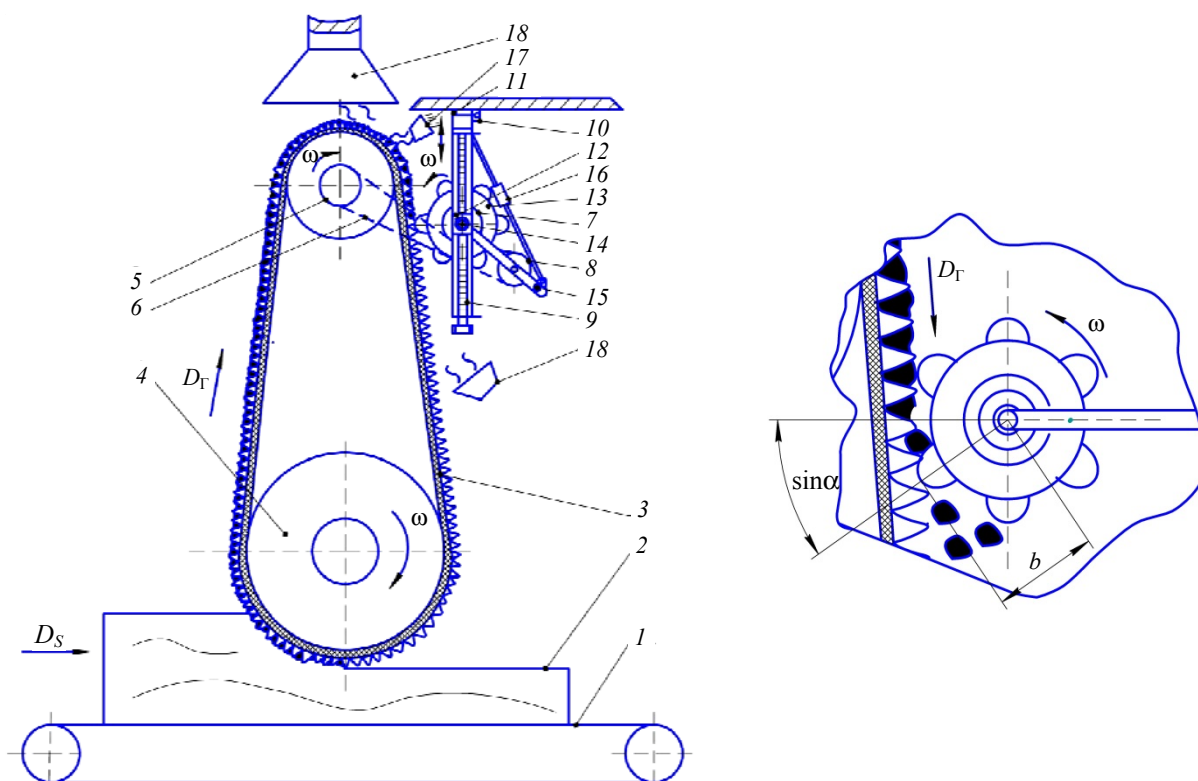


Рис. 8. Процесс очистки шлифовальной ленты:

- 1 – подающий конвейер; 2 – заготовка; 3 – шлифовальная лента;
 4 – приводной барабан; 5 – ведущий шкив механизма; 6 – ремень;
 7 – натяжной шкив; 8 – ведомый шкив; 9 – винтовая передача; 10 – поворотный механизм;
 11 – отверстия фиксации устройства в рабочем положении; 12 – ползун;
 13 – барабан; 14 – рукоятка для отвода устройства; 15 – рукоятка для натяжения ремня;
 16 – винтовая передача; 17 – воздушное сопло; 18 – приемник для удаления продуктов резания

Выводы. 1. Эффективность процесса шлифования зависит от состояния шлифовальной ленты, величины заполнения пространства между зернами продуктами резания.

2. Увеличение скорости подачи до 8 м/мин изменяет мощность на резание при припуске $H = 0,2$ мм с $P_{\text{пол}} = 6,85$ кВт до $P_{\text{пол}} = 8,96$ кВт при припуске $H = 0,3$ мм, т. е. полезная мощность увеличилась на 30,8%.

3. Очистка ленты улучшит качество обработанной поверхности (отсутствие прижогов) и уменьшит энергопотребление.

4. Использование предлагаемого способа очистки будет способствовать:

а) быстрой очистке шлифовальной ленты во время ее работы, что не уменьшит производительность процесса шлифования;

б) увеличению периода стойкости инструмента.

Литература

1. Любченко В. Н. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие. М.: Лесная пром-сть, 1986 – 296 с.
2. Гришкевич А. А., Костюк О. И. Методика и результаты исследований по удалению продуктов резания с поверхности шлифовальной шкурки // ДЕРЕВООБРАБОТКА: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Междунар. евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2015. С. 156–162.
3. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины: учеб. пособие. Минск: Выш. шк., С. 75–304.
4. Костюк О. И. Результаты экспериментальных исследований по определению касательной составляющей силы резания при шлифовании древесины // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 281–284.
5. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2014. 90 с.

References

1. Lyubchenco V. N. *Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Wood cutting and wood materials]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1986. 296 p.
2. Grishkevich A. A., Kostyuk O. I. [Methods and results of researches on removal of products of cutting from a surface of a grinding skin]. *Trudy X Mezhdunar. evraziyskogo simpoziuma (" Derevoobrotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI")* [Works of X Intern. Eurasian symposium ("Woodworking: technologies, the equipment. Management of XXI century")]. Ekaterinburg, 2015, pp. 156–162 (In Russian).
3. Bershadskiy A. L., Tsvetkova N. I. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysh. shk. Publ., pp. 75–304.
4. Kostyuk O. I. The results of experimental studies to determine the tangential component of the cutting force in grinding wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 281–284 (In Russian).
5. Grishkevich A. A., Garanin V. N. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravleniye protsessami rezaniya* [Mechanical processing of wood and wood materials, cutting process control]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 90 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

Морозова Ольга Игоревна – инженер кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: olga_kostiyk13@mail.ru

Швед Виталий Тадеушевич – магистрант кафедры 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

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

Morozova Ol'ga Igorevna – engineer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olga_kostiyk13@mail.ru

Shved Vitaliy Tadeushevich – Master's degree student, 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 14.03.2018

УДК 674.053:621.934

С. А. Гриневич, В. Т. Лукаш

Белорусский государственный технологический университет

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ
ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Статья посвящена теоретическим исследованиям особенностей взаимодействия зубьев дисковых твердосплавных пил с обрабатываемым материалом. В результате выполненного авторами геометрического моделирования процесса затупления лезвия режущего инструмента разработаны аналитические зависимости для определения величин радиуса округления режущей кромки и фаски износа по задней поверхности лезвия зуба дисковой твердосплавной пилы. В отличие от ранее известных предложенные модели учитывают не только фактический путь резания лезвия режущего элемента, но и его угловые характеристики, а также свойства взаимодействующих в процессе обработки материалов. Зависимости позволяют не только определять величины параметров поперечной микрогеометрии режущего элемента в любой момент его фактического пути резания, но и прогнозировать период стойкости режущего инструмента с целью оптимизации процесса его заточки и обеспечения максимального ресурса.

Ключевые слова: износ, лезвие, режущая кромка, затупление, радиус округления, фаска, период стойкости, заточка.

S. A. Grinevich, V. T. Lukash

Belarusian State Technological University

**GEOMETRIC MODELING
OF FLOODING WOODWORKING TOOLS**

The article is devoted to theoretical researches of peculiarities of interaction of teeth of carbide saw blades with processed material. As a result of the geometric modeling of the blade blunt process of the cutting tool, the analytical dependences for determining the values of the radius of rounding of the cutting edge and chamfer of wear on the back surface of the blade of the tooth of the disc carbide saw are developed. In contrast to the previously known models, the proposed models take into account not only the actual cutting path of the blade of the cutting element, but also its angular characteristics, as well as the properties of the interaction in the processing of materials. Dependences make it possible not only to determine the parameters of the transverse microgeometry of the cutting element at any time of its actual cutting path, but also to predict the period of durability of the cutting tool in order to optimize the process of sharpening it and ensure maximum life.

Key words: wear, blade, cutting edge, blunt, radius of rounding, chamfer, period of durability, sharpening.

Введение. Ухудшение качества обработки является следствием потери режущей способности инструмента в результате износа его режущих элементов. Износ инструмента определяется линейными показателями: объемом, площадью или изменением высоты режущего элемента, в то время как затупление характеризуется изменением микрогеометрии его лезвия в процессе работы.

Износу и затуплению дереворежущих инструментов посвящено большое количество работ и по этой теме решено много отдельных задач. Однако, до сих пор не найден ответ на вопрос о выборе параметров износа инструмента при пиления облицованных древесностружечных плит (ДСП), которые являлись бы для всех условий резания единственным объективным критерием затупления [1, 2, 3]. Отсутствует также единое мнение, изменение каких параметров микро-

геометрии лезвия режущего элемента при пиления ламинированных древесностружечных плит (ДСП-Л) приводит к появлению сколов на границах пропила.

По мнению Ю. А. Цуканова, В. В. Амалического [4, 5] и А. Э. Грубе [6], определяющим критерием потери режущей способности зубьев дисковых пил при пиления ДСП является образование и рост фаски износа [7] по задней поверхности лезвия вдоль главной режущей кромки. Радиус округления режущей кромки, по мнению ученых, в процессе износа практически не изменяется. В начальный (приработочный) период износа он несколько увеличивается из-за облома и последующего истирания вершины зуба в результате абразивного воздействия связующего и частиц древесины. Но с наступлением установившегося процесса износа величина радиуса округления режущей кромки остается

практически неизменной, в то время как величина фаски по задней поверхности лезвия характеризуется непрерывным ростом до некоторой критической величины, при которой эксплуатация инструмента становится нецелесообразной вследствие низкого качества обработки. Величину фаски для ряда инструментальных материалов можно определить по разработанной учеными номограмме (рис. 1).

Пиление относится к процессам сложного закрытого резания, поэтому наряду с износом главной режущей кромки значительному изменению подвержены боковые режущие кромки, формирующие стенки пропила и поверхности зуба, скользящие по этим стенкам. Этот факт отмечается в работах Вит. В. Амалицкого [8], С. П. Букиной [9], В. А. Зашмарина [10], К. А. По-лосухина [11], Я. И. Савчука [12], О. З. Хуажева [13], В. В. Шутко [14]. При обработке облицованных древесностружечных плит дисковыми твердосплавными пилами степень износа по боковым режущим кромкам к концу периода стойкости инструмента в 1,5–2 раза выше, чем по главной режущей кромке, и в 5–6 раз выше по сравнению с ее начальным значением [14]. На боковых поверхностях зубьев в процессе работы формируются площадки износа, в пределах которых задний угол равен нулю ($\alpha_t = 0$). В этих условиях силы резания и напряжения, создаваемые лезвием, достаточно велики, что вызывает разрушение (выкрашивание) обрабатываемого материала и сколы облицовочного материала [15].

Результаты экспериментальных исследований Д. А. Майснера [16], Ю. Беннаи [17], К. А. Полосухина [11] и В. В. Шутко [14] свидетельствуют о росте радиуса округления режущей кромки наряду с увеличением фаски по задней поверхности лезвия при обработке ламинированных древесностружечных плит.

Ниже приведены эмпирические зависимости, отражающие изменение радиуса округления режущей кромки ρ , мкм, и фаски износа по задней поверхности лезвия η_3 , мкм, от количества обработанного материала L , пог. м, полученные Д. А. Майснером [16].

Радиус округления режущей кромки

$$\rho = (1,578 + 1,473 \cdot L^{0,325})^{-0,325}. \quad (1)$$

Величина фаски по задней поверхности лезвия

$$\eta_3 = 22,2851 + 0,0433S - 1,7568^{-5L^2} + 4,7796^{-9L^2}. \quad (2)$$

В работах К. А. Полосухина [11] и В. В. Шутко [14] приводится зависимость величины радиуса округления режущей кромки от фактического пути резания:

$$\rho = \sqrt{390 \cdot A \cdot L_\phi + \rho_0^2}, \quad (3)$$

где ρ – текущий радиус округления режущей кромки, мкм; A – коэффициент, учитывающий интенсивность износа; L_ϕ – путь резания (фактический путь реза в материале), м; ρ_0 – начальный радиус округления режущей кромки, мкм.

Коэффициент, учитывающий интенсивность износа, определяется по формуле

$$A = \frac{1}{\operatorname{ctg}\left(\frac{\beta}{2}\right) - \frac{\pi \cdot (180 - \beta)}{360}}, \quad (4)$$

где β – угол заострения зуба пилы, град.

Из приведенных выше формул следует, что стойкость режущего инструмента, зависящая от параметров микрогеометрии режущей части инструмента, в значительной степени определяется его исходными угловыми параметрами.

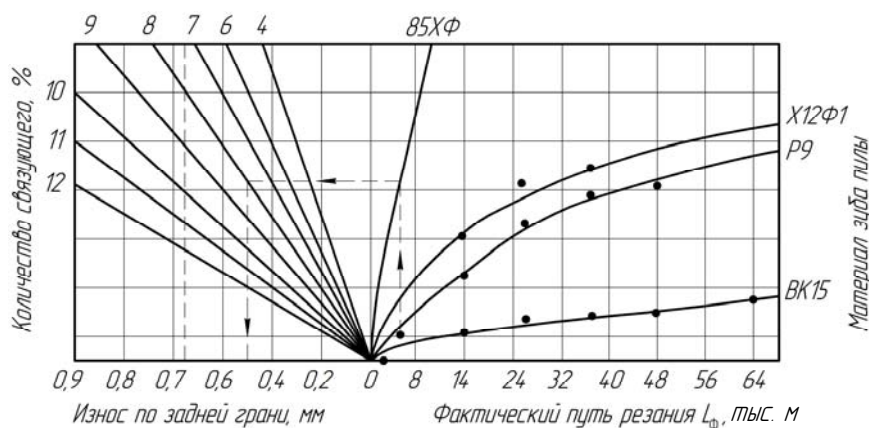


Рис. 1. Номограмма для определения величины фаски по задней поверхности лезвия вдоль главной режущей кромки зуба пилы

Поэтому зависимости (1)–(4) носят исключительно частный характер, так как справедливы только для определенных угловых параметров и не могут отражать характер изменения параметров микрогеометрии износа (ρ и η_3) лезвия с другими угловыми характеристиками при одинаковом пути резания, в то время как важной задачей является разработка универсальной математической модели для прогнозирования характера износа режущего элемента с заданными угловыми параметрами в конкретных условиях работы (при обработке различных древесных материалов). Для решения данной задачи авторами было выполнено геометрическое моделирование процесса затупления лезвия инструмента.

Основная часть. Ряд известных ученых в области резания древесины и древесных материалов, таких как Воскресенский С. А. [18], Дешевой М. А. [19], Кряжев Н. А. [20], Любченко В. И. [21] и другие, полагали, что в первом приближении объем изношенного слоя, стертго обрабатываемым материалом с единицы ширины лезвия инструмента, прямо пропорционален пути резания. Численно данный объем равен площади поперечного сечения изношенного слоя:

$$S = \varepsilon \cdot L_{\phi}, \quad (5)$$

где ε – интенсивность изнашивания материала режущего элемента, $\text{мкм}^2/\text{м}$.

Данная гипотеза была принята за основу для последующего моделирования процесса затупления твердосплавного дереворежущего инструмента.

На рис. 2 приведена расчетная схема поперечной микрогеометрии лезвия с фаской по задней поверхности η_3 и радиусом округления режущей кромки ρ .

Для моделирования приняты следующие допущения:

1) в результате интенсивного изнашивания задней поверхности зуба задний угол α уменьшается до нуля и фаска FB будет параллельна плоскости резания;

2) кривая, соединяющая переднюю и заднюю поверхности лезвия режущего элемента,

представляет собой дугу окружности радиусом $\rho = EK = KF$;

3) центры увеличивающихся дуг окружностей лежат на одной прямой OK , проведенной под углом ψ к нормали к плоскости резания.

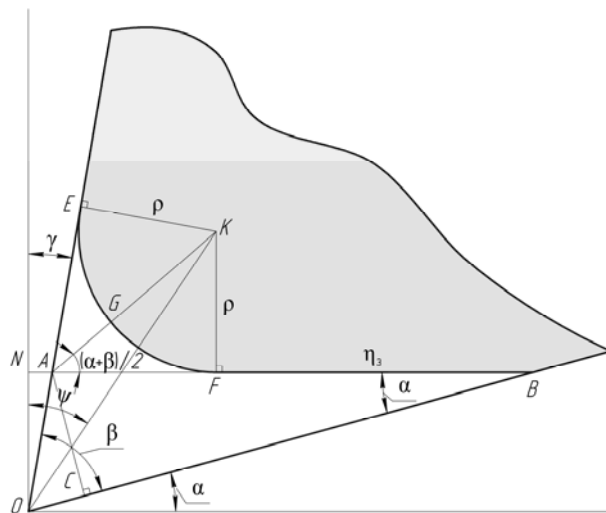


Рис. 2. Расчетная схема к определению параметров поперечной микрогеометрии режущего элемента

Последнее допущение позволяет моделировать разный характер изнашивания. Так, при ψ , равном переднему углу γ , радиус округления ρ будет равен нулю и поперечная микрогеометрия лезвия будет характеризоваться только фаской по задней поверхности η_3 . При дальнейшем увеличении ψ будет наблюдаться рост радиуса округления режущей кромки ρ . При $\psi = \gamma + \beta / 2$, где β – угол заострения лезвия, величина фаски по задней поверхности η_3 будет равна нулю и микрогеометрия лезвия будет характеризоваться только радиусом округления режущей кромки ρ .

Используя зависимость (5), разбив площадь износа S_{OAEFB} (рис. 2) на более простые геометрические фигуры и выполнив некоторые математические преобразования, были получены математические зависимости для определения радиуса округления режущей кромки и величины фаски износа по задней поверхности лезвия режущего элемента:

$$\rho = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot L_{\phi}}{\frac{\sin(\alpha + \beta)}{2 \sin \beta} \cdot \sin \alpha + A^2 \cdot \left(\operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) - \pi \cdot \frac{180 - (\alpha + \beta)}{360} \right)}} \times A; \quad (6)$$

$$\eta_3 = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot L_{\phi}}{\frac{\sin(\alpha + \beta)}{2 \sin \beta} \cdot \sin \alpha + A^2 \cdot \left(\operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) - \pi \cdot \frac{180 - (\alpha + \beta)}{360} \right)}} - \rho \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right), \quad (7)$$

где α – задний угол, град; β – угол заострения, град; $A = \frac{\sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\psi - \gamma)}{(\cos \psi - \sin(\psi - \gamma)) \cdot \sin \beta}$; ψ – угол

между нормалью к плоскости резания и линией, проходящей через центр окружности с радиусом, равным радиусу округления режущей кромки, град; γ – передний угол, град.

Из уравнений видно, что изменение указанных параметров поперечной микрогеометрии лезвия режущего элемента зависит не только от его фактического пути резания, но и от угловых параметров и твердости инструментального материала.

Заключение. Полученные зависимости позволяют аналитически определять параметры поперечной микрогеометрии режущего элемента с заданными угловыми характеристиками (α , β , γ) и свойствами инструментального мате-

риала (ϵ) в любой момент фактического пути резания L_f . Возможно также решение обратной задачи, когда по известным значениям фактического пути резания и параметров микрогеометрии лезвия определяется интенсивность изнашивания ϵ материала режущего элемента.

Отличительным преимуществом полученных зависимостей по отношению к ранее известным является их универсальный характер: возможность прогнозирования характера износа лезвия режущего инструмента с различными угловыми параметрами при обработке различных древесных материалов.

В сочетании с известными критическими значениями параметров ρ и η , разработанные аналитические зависимости позволяют прогнозировать ресурс работы дереворежущего инструмента при обработке различных древесных материалов и оптимизировать процесс его заточки [22].

Литература

1. Вандерер К. М., Зотов Г. А. Специальный дереворежущий инструмент: учеб. пособие для техникумов. М.: Лесная пром-сть, 1983. 208 с.
2. Демьяновский К. И. Износостойкость инструмента для фрезерования древесины. М.: Лесная пром-сть, 1968. 128 с.
3. Зотов Г. А., Памфилов Е. А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с.
4. Амалицкий В. В., Амалицкий Вит. В. Оборудование отрасли: учебник. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2006. 584 с.
5. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1966. 94 с.
6. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. 3-е изд., перераб и доп. М.: Лесная пром-сть, 1971. 344 с.
7. Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий: ГОСТ 25751-83. Введ. Респ. Беларусь 17.12.92. Минск: Гос. ком. по стандартизации Республики Беларусь, 1992. 28 с.
8. Амалицкий Вит. В. Пиление твердосплавными круглыми пилами и их заточка // Деревообрабатывающая промышленность. 2005. № 5. С. 6–10.
9. Букина С. П. Исследование обрабатываемости и процесса пиления древесностружечных плит: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. / Л., Ленингр. лесотехн. акад. 1963. 206 с.
10. Зашмарин В. А. Повышение работоспособности дисковых пил с пластинами твердого сплава при раскрое плитных древесных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / М., Моск. лесотехн. ин-т. 1990. 21 с.
11. Полосухин К. А. Влияние износа режущей кромки круглых пил, оснащенных пластинами твердого сплава, на качество обработанной поверхности // Надежность и качество: труды Междунар. симпози.: в 2 т./ Пенза, Пензенский гос. ун-т, 2013. Т. 2. С. 162–164.
12. Савчук Я. И. Повышение стойкости дисковых пил при обработке древесностружечных плит нанесением покрытия нитрида титана: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / Львов, Львовский. лесотехн. ин-т. 1984. 21 с.
13. Хуажев О. З. Исследование и разработка рациональных режимов резания и инструментов для обработки кромок облицованных древесностружечных плит: авторефер. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / Л., Ленинградская лесотехн. акад. 1982. 24 с.
14. Шутко В. В. Исследование влияния динамики затупления зубьев на процесс пиления дисковыми пилами // Рациональное использование древесного сырья. 1977. Вып. 1. С. 69–72.
15. Косарев В. А. Раскрой отделанных и облицованных плит. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1975. 20 с.
16. Майснер Д. А. Повышение износостойкости твердосплавного дереворежущего инструмента методом конденсации вещества с ионной бомбардировкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Красноярск, Сибирский гос. технол. ун-т. 2003. 22 с.

17. Беннаи Ю. Совершенствование процесса пиления древесностружечных плит дисковыми пилами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Санкт-Петербургская лесотехн. акад. СПб., 1992. 19 с.
18. Воскресенский С. А. Резание древесины. М.: Гослесбумиздат, 1955. 200 с.
19. Дешевой М. А. Механическая технология дерева: в 3 ч. Л.: Кубуч, 1934. Ч. 1. 512 с.
20. Кряжев Н. А. Фрезерование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1979. 200 с.
21. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. 2-изд., испр. и доп. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2002. 309 с.
22. Гриневич С. А., Лукаш В. Т. Определение максимального ресурса твердосплавных дисковых пил при обработке ламинированных древесностружечных плит // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 275–279.

References

1. Vanderer K. M., Zotov G. A. *Spetsial'nyy derevorezhushchiy instrument* [Special wood cutting tools]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1983. 208 p.
2. Dem'yanovskiy K. I. *Iznosostoykost' instrumenta dlya frezerovaniya drevesiny* [The wear resistance of the tool for milling wood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1968. 128 p.
3. Zotov G. A., Pamfilov E. A. *Povysheniye stoykosti derevorezhushchego instrumenta* [Improving the durability of woodworking tools]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 304 p.
4. Amalitskiy V. V., Amalitskiy Vit. V. *Oborudovaniye otrasli* [Industry equipment]. Moscow, Mosk. gos. un-t lesa Publ., 2006. 584 p.
5. Cukanov Ju. A., Amalitskiy V. V. *Obrabotka rezaniem drevesnostruzhechnykh plit* [Processing by cutting of chipboards]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1966. 94 p.
6. Grube A. Je. *Derevorezhushhiye instrumenty* [Woodworking tools]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1971. 344 p.
7. GOST 25751-83. The cutting tools. Terms and definitions of General concepts. Minsk, Gos. kom. po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 1992. 28 p. (In Russian).
8. Amalitskiy Vit. V. Sawing hard-alloy circular saws and sharpening. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 5, pp. 6–10 (In Russian).
9. Bukina S. P. *Issledovaniye obrabatyvaemosti i protsessa pileniya drevesnostruzhechnykh plit: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Investigation of the machinability and sawing process of chipboards. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Leningrad, 1963. 206 p.
10. Zashmarin V. A. *Povysheniye rabotosposobnosti diskovykh pil s plastinami tverdogo splava pri raskroye plitnykh drevesnykh materialov: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase of working capacity of circular saws with plates of a firm alloy at cutting of plate wood materials. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Moscow, 1990. 21 p.
11. Polosukhin K. A. Impact of wear of the cutting edge of circular saws equipped with hard alloy plates on the quality of the machined surface. *Trudy Mezhdunar. simpoz. ("Nadezhnost' i kachestvo")* [Proceedings of the International symposium ("Reliability and quality")], 2013, vol. 2, pp. 162–164 (In Russian).
12. Savchuk Ja. I. *Povysheniye stoykosti diskovykh pil pri obrabotke drevesnostruzhechnykh plit naneseniyem pokrytiya nitrida titana: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increasing resistance of circular saws in the processing of chipboard with a coating of titanium nitride. abstract of thesis cand. of teckhn. sci.]. L'vov, 1984. 21 p.
13. Huazhev O. Z. *Issledovaniye i razrabotka ratsional'nykh rezhimov rezaniya i instrumentov dlya obrabotki kromok oblitsovannykh drevesnostruzhechnykh plit: Avtoref. dis. kand. of tekhn. nauk* [Research and development of rational cutting regimes and tools for edge treatment of faced chipboards. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Leningrad, 1982. 24 p.
14. Shutko V. V. The study of the dynamics of bluntness of the teeth in the process of sawing circular saws. *Ratsional'noye ispol'zovaniye drevesnogo syr'ya* [Rational use of wood raw materials], 1977, issue 1, pp. 69–72 (In Russian).
15. Kosarev V. A. *Raskroy otdelannykh i oblitsovannykh plit* [Cutting is trimmed and lined with slabs]. Moscow, VNIPIelles-prom Publ., 1975. 20 p.
16. Maysner D. A. *Povysheniye iznosostoykosti tverdospavnogo derevorezhushchego instrumenta metodom kondensatsii veshchestva s ionnoy bombardirovkoy: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase of wear resistance of carbide woodworking tools by means of condensation of substance with ion bombardment. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Krasnoyarsk, 2003. 22 p.
17. Bennai Yu. *Sovershenstvovaniye protsessa pileniya drevesnostruzhechnykh plit diskovymi pilami. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [For improving the sawing of chipboards saws. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. St. Petersburg, 1992. 19 p.

18. Voskresenskiy S. A. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1955. 200 p.
19. Deshevoj M. A. *Mekhanicheskaya tekhnologiya dereva* [Mechanical technology of wood]. Leningrad, Kubuch Publ., 1934, part 1. 512 p.
20. Kryazhev N. A. *Frezerovaniye drevesiny* [Wood milling]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1979. 200 p.
21. Ljubchenko V. I. *Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting wood and wood materials]. Moscow, Mosk. gos. un-t lesa Publ., 2002. 309 p.
22. Grinevich S. A., Lukash V. T. Determination of the maximum life of hard-alloy circular saws in the treatment of laminated chipboards. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 275–279 (In Russian).

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

Лукаш Валерий Тадеушевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Lukash@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

Lukash Valeriy Tadeushevich – PhD (Engineering), assistant, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Lukash@belstu.by

Поступила 12.03.2018

УДК 621.914:674:004

В. В. Раповец¹, И. К. Клепацкий¹, С. В. Медведев², Г. Г. Иванец²¹Белорусский государственный технологический университет²Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси**МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LS-DYNA
ЧЕРЕЗ МГНОВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СИЛ И СКОРОСТЕЙ РЕЗАНИЯ
ПРИ ФРЕЗЕРОВНИИ ДРЕВЕСИНЫ**

Объектом исследований являются математические методы мультипроцессорной вычислительной среды LS-DYNA для построения и анализа модели оптимизации технологических процессов при цилиндрическом фрезеровании древесины и древесных материалов.

Для сравнения рассчитанной мощности с результатами натуральных экспериментов при различных режимах резания разработана методика определения мощности резания как средней величины произведений значений мгновенных сил резания на значения мгновенных скоростей на интервале измерений, определяемом временем контакта зуба с заготовкой. Мгновенные силы резания и мгновенные координаты точки вершины зуба определяются путем расчета в пакете LS-DYNA на суперкомпьютере.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – полученные результаты выполнения НИР могут использоваться для моделирования и оптимизации параметров сложных высокоскоростных процессов механической обработки древесины и древесных материалов при выполнении научных исследований, что позволят существенно повысить эффективность действующего производства.

Ключевые слова: фрезерование, компьютерное моделирование, сила резания, скорость резания, древесина, мультипроцессорные вычисления.

V. V. Rapovets¹, I. K. Klepatskiy¹, S. V. Medvedev², G. G. Ivanets²¹Belarusian State Technological University²United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus**METHOD OF CALCULATION OF POWER IN THE LS-DYNA SOFTWARE
THROUGH THE INSTANT VALUES OF FORCES AND CUTTING SPEEDS
AT THE MILLING OF WOOD**

The object of the research is the mathematical methods of the multiprocessor computing environment LS-DYNA for constructing and analyzing the model of optimization of technological processes for cylindrical milling of wood and wood materials.

To compare the calculated power with the results of field experiments with different cutting modes, a technique was developed for determining the cutting power as the average value of the products of instantaneous cutting forces by the values of instantaneous speeds in the measurement interval determined by the time of contact of the tooth with the workpiece. The instantaneous cutting forces and instantaneous coordinates of the point of the vertex of the tooth are determined by calculation in the LS-DYNA package on a supercomputer.

Predictive assumptions about the development of the research object - the obtained results of the research can be used to model and optimize the parameters of complex high-speed processes of mechanical processing of wood and wood materials in the performance of scientific research that will significantly improve the efficiency of existing production.

Key words: milling, computer modeling, cutting force, cutting speed, wood, multiprocessor calculations.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь для высокоскоростной лезвийной обработки различных древесных материалов применяется дорогостоящий дереворежущий инструмент в основном зарубежного производства. Большая номенклатура используемого современного дереворежущего инструмента обусловлена специфическими особенностями его работы: разнообразием обрабатываемых мате-

риалов (натуральная древесина, древесные плитные материалы и пластики); кинематикой процесса резания (вращательное движение инструмента, криволинейное и прямолинейное и т. д.); видами резания (открытое, полузакрытое, закрытое); расположением лезвия в пространстве относительно оси вращения инструмента или результирующего вектора скорости и т. д. Изменение условий работы инструмента в каж-

дом конкретном случае приводит к изменению характеристик процесса резания (динамических нагрузок, мощности резания, периода стойкости инструмента, качества обработанной поверхности, ресурса инструмента и т. п.). Основной целью проводимых исследований в рамках данной работы является разработка метода и математической модели многокритериальной оптимизации режимов деревообработки на основе базы данных зависимостей характеристик процесса резания от технологических режимов обработки, сформированной посредством натуральных и вычислительных экспериментов.

В процессе выполнения работы был проведен анализ средств моделирования в высокопроизводительных вычислительных системах, состав и способ построения компонент математической модели оптимизации технологических процессов деревообработки, экспериментально на установке Biesse Rover B 4.35 определены выходные параметры режимов механической обработки древесины фрезерованием.

Разработана методика аппроксимации экспериментальных зависимостей и предназначена для использования в системах поддержки принятия решений при выборе оптимальных режимов высокоскоростной лезвийной обработки древесных материалов. Научная значимость разработанных методик расчета мощности резания состоит в возможности ее прогноза с помощью суперкомпьютерных технологий. Сформированы базы данных зависимостей характеристик процесса резания (мощность резания, период стойкости инструмента, качество обработанной поверхности, радиус округления режущей кромки лезвия) от технологических режимов обработки.

Практическая направленность заключается в возможности применения разработанных методик при разработке баз данных оптимальных режимов резания для различных древесных материалов. Результаты исследований являются основой для разработки системы расчета оптимальных режимов резания для высокоскоростных процессов лезвийной обработки древесных материалов.

Область применения – результаты проведенных исследований при моделировании высокоскоростных процессов лезвийной обработки древесины и древесных материалов могут использоваться на деревообрабатывающих предприятиях отрасли для разработки баз оптимальных режимов резания при обработке различных древесных материалов, оптимизации режимов эксплуатации дереворежущего фрезерного инструмента на современных линиях и станках с числовым программным управлением.

Экономическая эффективность работы заключается в снижении стоимости и длительности проведения натуральных экспериментов за счет моделирования процесса резания в высокопроизводительных вычислительных системах и многокритериальной оптимизации технологических параметров обработки.

Полученные результаты выполнения НИР могут использоваться для моделирования и оптимизации параметров сложных высокоскоростных процессов механической обработки древесины и древесных материалов при выполнении научных исследований, что позволяет существенно повысить эффективность действующего производства.

Основная часть. В результате расчета в пакете LS-DYNA получается файл `sprforce`, содержащий значения сил в узлах закрепленного основания (рис. 1).

```

NuMBER3
ls-dyna smp.113621 d date 01/19/2017
single point constraint forces
output at time = 0.00000E+00
node= 1103588 local x,y,z forces = -2.3593E-07 -1.4610E-07 5.2416E-08 setid= 0
force resultants = -2.3734E-03 3.8925E-02 -1.0487E-09
output at time = 6.40000E-01
node= 207611 local x,y,z forces = -3.8345E-08 -1.8892E-08 -6.8534E-09 setid= 0
node= 207612 local x,y,z forces = -3.9288E-08 -1.9050E-08 -6.9117E-09 setid= 0
node= 207613 local x,y,z forces = -4.0266E-08 -1.9264E-08 -6.9902E-09

```

Рис. 1. Структура файла `sprforce`

Данный файл обрабатывается с помощью программы LS-PREPOST. Получается график изменения суммы вертикальных составляющих силы для всех выбранных узлов, другими словами, вертикальной составляющей реакции опоры (рис. 2).

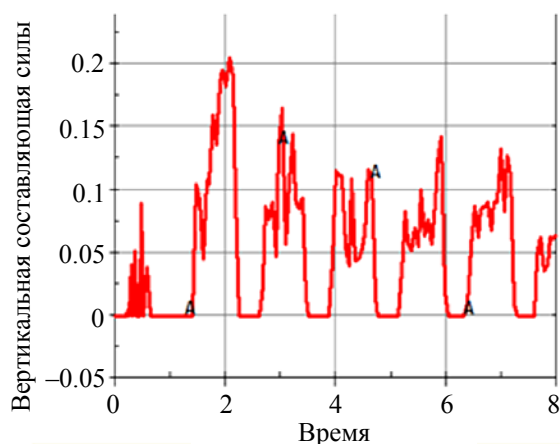


Рис. 2. График изменения силы при резании фрезой

График сохраняется в файле y-force.txt (рис. 3).

```

Curveplot
NUMBER3
Time
Y-force
Node Ids
Comb. Y-force #pts=140
* Minval= -4.219534e-005 at time= 0.5200
* Maxval= 2.055270e-001 at time= 2.0800
0.000000e+000 0.000000e+000
4.000000e-002 0.000000e+000
1.000000e-001 0.000000e+000
1.600000e-001 0.000000e+000
2.100000e-001 -7.074328e-006
2.400000e-001 5.066515e-003
2.700000e-001 -1.697937e-008
3.000000e-001 4.120263e-002
3.300000e-001 -8.662589e-006
3.600000e-001 5.193780e-002
3.900000e-001 -1.539381e-005
4.200000e-001 -2.230025e-005
4.500000e-001 -1.653212e-008
4.800000e-001 9.002686e-002
    
```

Рис. 3. Структура табличной кривой изменения силы при резании фрезой

Значения меньше 0.0001 Кн можно считать таковыми для времени, в которое зуб не находится в контакте с заготовкой. Далее для каждого зуба в этом файле выделяется группа строк со значениями сил больших 0.0001 Кн. В группу включается по одной ограничивающей строке в начале и конце группы, где значения силы меньше 0.0001 Кн (рис. 4).

1.120000e+000	8.093764e-009
1.180000e+000	8.093764e-009
1.240000e+000	8.093764e-009
1.300000e+000	8.093764e-009
1.360000e+000	8.093764e-009
1.420000e+000	8.093764e-009
1.480000e+000	1.047329e-001
1.540000e+000	9.145191e-002
1.600000e+000	4.540900e-002
1.660000e+000	1.080350e-001
1.720000e+000	1.049544e-001
1.780000e+000	1.597973e-001
1.840000e+000	1.357684e-001
1.900000e+000	1.858765e-001
1.960000e+000	1.954544e-001
2.020000e+000	1.832061e-001
2.080000e+000	2.055270e-001
2.140000e+000	1.900487e-001
2.200000e+000	9.379216e-002
2.260000e+000	-8.602638e-008
2.320000e+000	-6.507162e-008
2.380000e+000	-6.507162e-008
2.440000e+000	-6.507162e-008
2.500000e+000	-6.507162e-008
2.560000e+000	-6.507162e-008
2.620000e+000	-6.507162e-008

Рис. 4. Схема расчета угла $ALFA$

Данные из фрагмента заносятся в EXCEL табличный файл (рис. 5).

	A	B	C
1		1,42	0,00
2		1,48	0,10
3		1,54	0,09
4		1,60	0,05
5		1,66	0,11
6		1,72	0,10
7		1,78	0,16
8		1,84	0,14
9		1,90	0,19
10		1,96	0,20
11		2,02	0,18

Рис. 5. Зоны приложения бокового давления, имитирующего предварительно-напряженное состояние древесины после сушки

Фактически в столбцах $C[N-1]$, $C[N]$ содержатся значения силы, которые соответствуют временному участку от $B[N-1]$ до $B[N]$, где N – номер строки. Значение $C[N]$ считается как мгновенное значение силы на этом участке.

Для нахождения мгновенной скорости в программе LS-PREPOST строится график перемещения вершины зуба. В качестве вершины выбирается центр округления резца. Нижнее положение зуба соответствует началу резания (рис. 6).

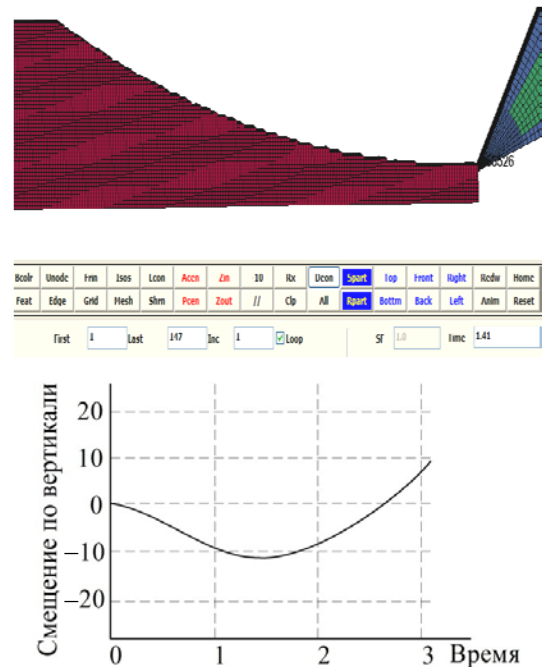


Рис. 6. Исходное состояние для второго зуба перед резанием и график перемещения второго зуба по оси Y

График сохраняется в виде файла табличной кривой $y - displzN$, где N – номер зуба.

В сохраненном файле выделяется группа строк временного интервала, определенного на шаге измерения мгновенных сил. Отметки границ и разность времени между строками может незначительно отличаться от данных фрагмента для силы. Поэтому при передаче данных в EXCEL табличный файл нужно и привести в соответствие с временными интервалами силы. Далее рассчитываются значения приращений по времени dt и перемещения dy . Для расчета перемещений используются средства программы EXCEL расчета данных столбцов по формулам.

Для каждого моделирования резания при заданных параметрах аналогичным образом выполняются расчеты средней мощности еще как минимум для трех зубьев (рис. 7).

t	y	dy	dt	v	t	F	v	$N = F \cdot v$
2,68	-38,25	-0,03			2,74	0,09	0,487	0,42803
2,74	-38,22	0,03	0,06	0,487	2,80	0,08	1,465667	0,112527
2,80	-38,13	0,09	0,06	1,465667	2,86	0,09	2,362333	0,21389
2,86	-37,99	0,14	0,06	2,362333	2,92	0,05	3,397833	0,162453
2,92	-37,79	0,20	0,06	3,397833	2,98	0,14	4,192833	0,567915
2,98	-37,54	0,25	0,06	4,192833	3,04	0,17	5,136333	0,851706
3,04	-37,23	0,31	0,06	5,136333	3,10	0,06	6,31333	0,358744
3,10	-36,85	0,38	0,06	6,313333	3,16	0,11	7,067833	0,758344
3,16	-36,43	0,42	0,06	7,067833	3,22	0,15	7,9955	1,161095
3,22	-35,95	0,48	0,06	7,9955	3,28	0,09	8,872333	0,822226
3,28	-35,41	0,53	0,06	8,872333	3,34	0,09	9,803167	0,833623
3,34	-34,83	0,59	0,06	9,803167	3,40	0,09	10,62033	0,994248
3,40	-34,19	0,64	0,06	10,62033	3,46	0,02	11,53	0,177037
3,46	-33,50	0,69	0,06	11,53	3,52	0,00	12,34217	-1,00E-06
3,52	-32,76	0,74	0,06	12,34217	Среднее		0,470401	

Рис. 7. Отчетные таблицы по расчету мощности резания

Далее проводятся вычислительные эксперименты для построения графиков и вывода аналитических зависимостей. Методика рассматривается на примере вывода закона изменения при постоянной скорости шпинделя 6000 об/мин от скорости подачи. Принимается правило, что при наличии значений экспериментов для вывода формулы использовать именно их. В программе EXCEL при построении графика выводим линию тренда вместе с уравнением и величины достоверности аппроксимации (рис. 8, 9).

Исходя из величины достоверности аппроксимации, выбирается формула аналитической зависимости $y = 0,1205x^{0,5693}$.

При выводе зависимости мощности от скорости резания при постоянной подаче исполь-

зовались данные виртуальных испытаний для оборотов шпинделя от 5000 до 10 000 в минуту. Причем в первом случае данные натуральных испытаний не учитывались ввиду их малого количества для подачи 19,2 м/мин. Получена формула полиномиальной зависимости:

$$y = 6e^{-12}x^3 - 2e^{-7}x^2 + 0,0015x - 3,787. \quad (1)$$

Во втором случае учтены данные натуральных испытаний. Получилась формула

$$y = 2e^{-12}x^3 - 7e^{-8}x^2 + 0,0009x - 2,3961. \quad (2)$$

Иллюстрация вывода формул показана на рис. 10.

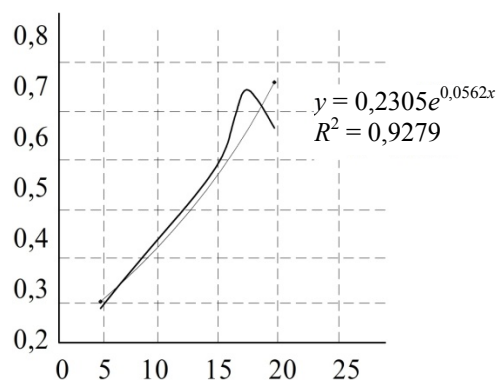


Рис. 8. Линия тренда по экспоненциальной зависимости

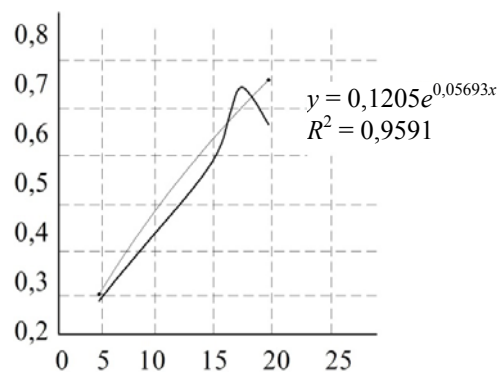


Рис. 9. Линия тренда по степенной зависимости

Для другой толщины съема при тех же скоростях резания и подачи нужно проводить новые расчеты и выводить другие формулы. Так, для толщины слоя 3 мм получена формула полиномиальной зависимости:

$$y = 9e^{-5}x^2 + 0,0113x - 0,3047. \quad (3)$$

Вывод формулы зависимости мощности резания от подачи при постоянной скорости резания (обороты шпинделя 6000 об/мин) и толщине снимаемого слоя 3 мм представлен на рис. 11.

Скорость	Подача	Мощность расчетная	Мощность эксперимента
5000	19,2	0,345677	0,378
6000	19,2	0,602998	
7000	19,2	0,676134	
8000	19,2	0,752335	0,794
10000	19,2	0,716715	

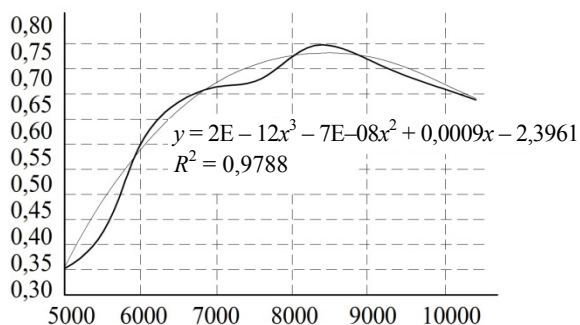
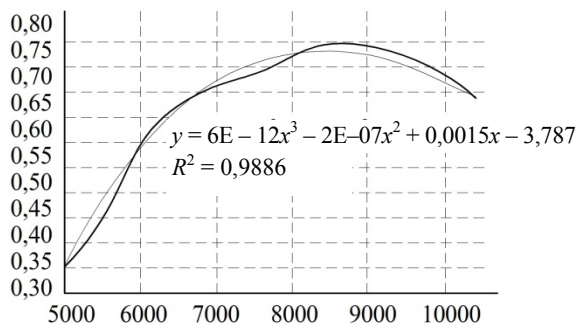


Рис. 10. Вывод формулы зависимости мощности резания от скорости резания (обороты шпинделя) при постоянной подаче 19,2 м/мин

Таким образом, изменяя технологические значимые параметры высокоскоростного процесса лезвийной обработки и проводя соответствующие расчеты, описанные выше по разработанным методикам в совокупности с экспериментальными данными, осуществляется формирование баз данных.

Скорость	Подача	Мощность расчетная	Мощность эксперимента
6000	6,2	0,453	0,378
6000	12,39		0,458
6000	18,59		0,545

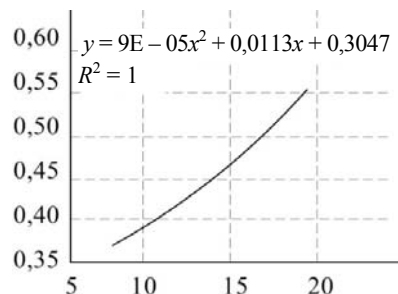


Рис. 11. Вывод формулы зависимости мощности резания от подачи при постоянной скорости резания (обороты шпинделя 6000 об/мин) и толщине снимаемого слоя 3 мм

Заключение. Таким образом, представленная методика позволяет рассчитывать мощность для заданных параметров режимов резания, сравнивать результаты расчета с мощностью, полученной в натуральных экспериментах при этих же режимах, верифицировать расчетную модель, а затем использовать расчетную модель для получения значений мощностей при комбинации параметров, для которых не производились натурные испытания. Если проводить расчеты при одном изменяющемся параметре, зафиксировав остальные, то получают данные, позволяющие строить графики зависимости мощности от значений этого параметра.

В программе EXCEL такой график можно аппроксимировать аналитической зависимостью. Аналитические зависимости можно использовать в системах оптимизации режимов резания с критерием оптимизации по мощности резания.

Литература

1. Huang J. M., Black J. T. An Evaluation of Chip Separation Criteria for FEM Simulation of Machining. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 1996. P. 545–554.
2. Ceretti E., Fallbohmer P., Wu W. T., Atlan T. R., Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Cutting. *Journal of Materials Processing Technology*. 1996. P. 169–180.
3. Методика моделирования процесса механической обработки древесных материалов фрезерованием в пакете LS-DYNA / В. В. Раповец [и др.] // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды X Междунар. евразийского симпозиума*, Екатеринбург. 2015. С. 170–176.
4. Вычислительные эксперименты высокоскоростной лезвийной обработки древесины / В. В. Раповец [и др.] // *Труды БГТУ*. 2017. № 2 (198): Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. С. 360–364.

References

1. Huang J. M., Black J. T. An Evaluation of Chip Separation Criteria for FEM Simulation of Machining. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 1996, pp. 545–554.

2. Ceretti E., Fallbohmer P., Wu W. T., Atlan T. R. Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Cutting. *Journal of Materials Processing Technology*. 1996, pp. 169–180.

3. Rapovets V. V., Grishkevich A. A., Medvedev S. V., Ivanec G. G. The methodology of modeling during machining of wood materials by milling in the soft LS-DYNA. *Trudy Mezhdunar. evraziyskogo simpoziuma ("Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment")* [Proceedings of the International. Evraz. Symposium ("Woodworking: technologies, equipment, management of the X Century")], Ekaterinburg, 2015, pp. 170–176 (In Russian).

4. Rapovets V. V., Klepatskiy I. K., Medvedev S. V., Ivanets G. G. Computational experiments of high-speed blade cutting of wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, nature management. Processing of renewable resources, pp. 360–364 (In Russian).

Информация об авторах

Раповец Вячеслав Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: slavyan_r@mail.ru

Клепацкий Игорь Казимирович – магистрант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lucky-35@mail.ru

Медведев Сергей Викторович – доктор технических наук, заведующий лабораторией. Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: medv@newman.bas-net.by

Иванец Григорий Григорьевич – главный конструктор проекта. Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: ivanec@newman.bas-net.by

Information about the authors

Rapovets Vyacheslav Valer'yevich – 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: slavyan_r@mail.ru

Klepatskiy Igor' Kazimirovich – Master's degree student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lucky-35@mail.ru

Medvedev Sergey Viktorovich – PhD (Engineering), Head of the Laboratory. The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: medv@newman.bas-net.by

Ivanets Grigoriy Grigor'yevich – Chief Designer of the project. The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ivanec@newman.bas-net.by

Поступила 27.02.2018

УДК 539.422.5

В. Н. Гаранин, А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко, Д. Л. Болочко
Белорусский государственный технологический университет

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА
С ПРЯМЫМИ НОЖАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

В работе представлена новая технология изготовления криволинейных (профильных) поверхностей на примере древесины сосны при ее фрезеровании прямыми ножами. Целью рассматриваемой работы является изучение возможности использования лезвий режущих элементов с прямыми режущими кромками, которые формируют криволинейные поверхности в изделиях из древесных материалов; определение возможных ограничений у дереворежущего фрезерного инструмента при его эксплуатации. Приведены данные по исследованию износостойкости инструмента, где реализована данная технология. Положительные результаты показывают на эффективность использования предлагаемой технологии, позволяющей значительно уменьшить издержки при формировании профильных поверхностей на древесине.

Ключевые слова: деревообработка, нож, профильная поверхность, износостойкость.

V. N. Garanin, A. A. Grishkevich, A. F. Anikeenko, D. L. Bolochko
Belarusian State Technological University

**THE APPLICATION TECHNOLOGY OF THE MILLING TOOL
WITH STRAIGHT KNIVES FOR THE MANUFACTURE
OF CURVED SURFACES**

In this paper, a new technology for manufacturing profile surfaces with straight knives is presented, for example, in milling pine wood. The purpose of the presented work is to study the possibilities of using the proposed technology with the identification of various limitations of creation and operation on the example of the type of milling tool being considered. Data on the study of the wear resistance of the tool are presented, where this technology is implemented. Positive results show the effectiveness of using the proposed technology, which allows to significantly reduce costs when forming the profile surfaces of wood.

Key words: woodworking, knife, profile surface, wear resistance.

Введение. Производство изделий из древесины и древесных материалов (столярных изделий, корпусной и каркасной мебели и др.) в Республике Беларусь является традицией, которая корнями уходит в историю белорусов. Она неразрывно связана с лесистостью территории. Изготовление указанных изделий невозможно без механических операций над древесиной, среди которых выделяют процесс фрезерования. С его помощью получают как плоские, так и профильные поверхности. Получение профильных поверхностей при этом требует больших затрат, качественной подготовки инструмента, более высокого уровня специалистов и оборудования. В представленной работе обратим внимание на получение криволинейных поверхностей (рис. 1), часто называемых словом «блок-хаус». Рассмотрим направления по уменьшению ресурсов при получении указанного профиля, обеспечив при этом увеличение полного периода стойкости дереворежущего инструмента.

Основная часть. Для получения криволинейных поверхностей (типа «блок-хаус») в де-

ревообработке используются различные конструкции цилиндрических фрез с главной режущей кромкой, профилированной по соответствующей кривой (рис. 2).



Рис. 1. Криволинейная поверхность («блок-хаус»)

Преимуществами фрезы *a* (рис. 2) являются простота конструкции, сравнительно низкая стоимость. Основным же недостатком такого инструмента считаются фасонные ножи, которые сложно переточить. Данной конструкцией фрезы можно получить только один профиль. Ножи для таких фрез изготавливают, как правило, из стали Х6ВГ (Х12, ХВГ).

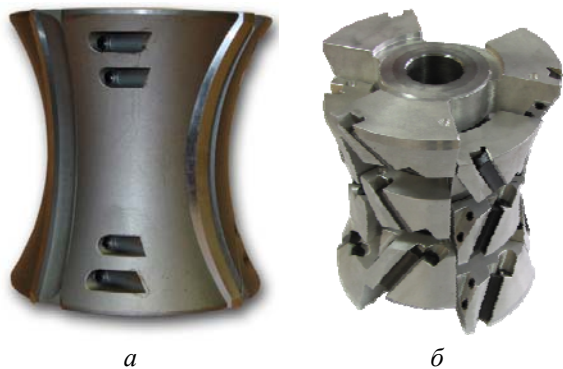


Рис. 2. Фрезы для получения криволинейных поверхностей:
 а – фреза фирмы «Самсон»,
 б – фреза фирмы «Иберус-Киев»

Фреза сборная (рис. 2, б) состоит из 5 секций. Для снижения массы инструмента корпус выполнен из легких инструментальных материалов. Фреза оснащена износостойкими ножами из твердого сплава. Преимущество ее – наличие сменных прямых ножей, которые легко затачиваются. Недостатки: сложная конструкция, большая стоимость и большое количество ножей.

Существуют и другие конструкции фрез для получения радиусных поверхностей [1].

При цилиндрическом фрезеровании инструментом (рис. 2, а) обрабатываемый материал с удаляемым припуском h (мм) подают с постоянной скоростью V_s (м/мин) на вращающийся с окружной скоростью V (м/с) инструмент. При этом численное отношение V_s / V составляет от 30 до 100. Режущая кромка, формирующая поверхность обработки, расположена параллельно оси вращения инструмента, а направление подачи – перпендикулярно оси вращения. Передний угол при таком способе резания равен $\gamma \geq 5$ град, задний угол $\alpha \geq 15$ град. Угол заострения β режущей кромки выбирают в зависимости от вида обрабатываемого материала (береза, сосна, дуб, древесностружечная плита и т. д.) и расположения волокон обрабатываемого материала относительно вектора скорости резания [2].

Для изготовления наиболее распространенного в последнее время изделия в виде профильной доски используют ножи с криволинейной кромкой, формирующей при работе фигуру вращения с образующей в виде функции 2-го порядка. Недостатком такой технологии является сложность заточки ножей для фасонной обработки изделий. Для повышения производительности данного способа обычно используют инструмент, содержащий 2 и более лезвия. Их заточка и углы установки в корпус инструмента при этом должны совпадать с очень высокой точностью (не более 50 мкм).

В противном случае обрабатываемая поверхность приобретает сверхнормативную шероховатость, обусловленную различной глубиной проникновения лезвий в материал. Снижение качества обработки за счет увеличения шероховатости сопровождается увеличением процента некачественной продукции. Требуемая точность заточки обеспечивается только при использовании дорогостоящего специализированного оборудования, что приводит к существенному увеличению себестоимости продукции. Многократная переточка режущей кромки ведет к увеличению (накоплению) различий в геометрических профилях одного и того же комплекта ножей и дальнейшему снижению качества обрабатываемой поверхности. Срок службы комплекта ножей в данном случае определяется не только количеством переточек, но и накопленными различиями в изменении геометрического профиля режущей кромки. На сегодняшний день существует большое количество оборудования, которое позволяет подготавливать профильный инструмент для обработки древесины. С целью уменьшения издержек на подготовку ножей с криволинейными режущими кромками предлагается новое решение.

Сущность предлагаемого технического решения заключается в формировании требуемой фигуры вращения с образующей в виде функции 2-го порядка за счет непрерывных участков прямых лезвий, имеющих определенный угол наклона кромки. Это позволяет существенно упростить заточку ножей и повысить качество обрабатываемой поверхности за счет уменьшения размера микронеровностей, формируемых воздействием различным количеством ножей в составе одного и того же инструмента.

Установка прямой режущей кромки под углом θ к направлению движения подачи приводит к тому, что радиус фигуры вращения, образованной этой кромкой, плавно меняется по ширине обрабатываемого материала на некоторую величину Δ , зависящую от θ (рис. 3). Чем больше θ , тем больше кривизна образующей формируемой фигуры вращения и тем больше кривизна сопряженной с ней обрабатываемой поверхности. Величины Δ и θ связаны строгим математическим выражением, поэтому θ легко определить, если задана величина изменения высоты профиля обрабатываемого материала на ширине B .

В большинстве случаев не требуется строгого соответствия формы профиля получаемой поверхности дуге окружности определенного радиуса. Заявляемый способ обеспечивает формирование профиля, близкого к параболе. Дуга этой параболы в данном случае очень близка по форме к дуге окружности.

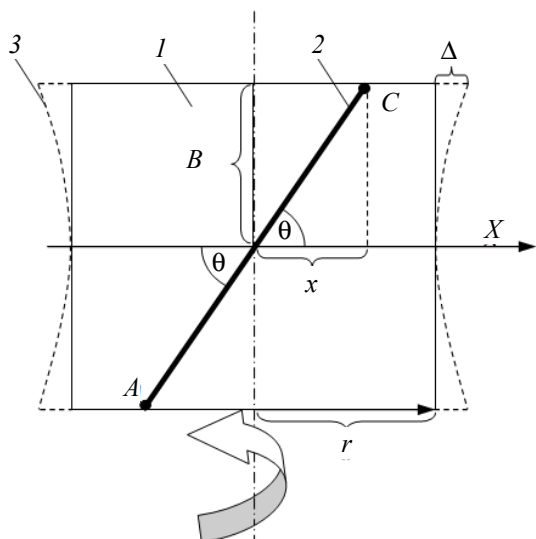


Рис. 3. Схема формирования радиуса фигуры вращения в продольном сечении фрезы:
 1 – корпус фрезы; 2 – режущая кромка;
 3 – образующая фигуры вращения;
 x – конечное смещение; θ – угол наклона кромки;
 Δ – изменение радиуса; B – ширина материала, на которой изменяется радиус вращения режущей кромки; A – точка врезания;
 C – точка выхода;
 X – направление движения подачи

Однако управлять кривизной дуги при реализации заявляемого способа очень легко путем изменения θ без замены комплекта ножей. В случае же использования обычного инструмента изменение кривизны формируемой поверхности достигается только заменой комплекта ножей и, как правило, фрезы в целом. Заточка ножей с прямолинейной кромкой максимально проста и не требует сложного технологического оборудования, как в случае прототипа. Количество удаляемого материала при заточке прямой кромки меньше, чем при заточке криволинейной. Это связано с тем, что для точного воспроизведения исходного профиля криволинейной режущей кромки количество удаляемого материала обратно пропорционально косинусу угла, формируемого дугой криволинейной кромки, – с увеличением длины дуги и уменьшением радиуса ее кривизны количество материала, удаляемого при заточке, увеличивается. И если дуга опирается на угол, равный π , переточка с точным сохранением исходного профиля становится невозможной – по краям дуги удаление материала возможно только с увеличением радиуса кривизны. Таким образом, допустимое количество переточек ножей фрезы при использовании заявляемого способа фрезерования фасонных поверхностей возрастает за счет уменьшения количества удаляемого материала в процессе одного цикла заточки.

В результате общий срок службы ножей увеличивается. Кроме того, установка режущей кромки под углом к направлению движения подачи уменьшает составляющие силы резания. Воздействие режущей кромки на обрабатываемый материал протекает при постепенном внедрении участков лезвия в материал (от точки врезания на одном краю материала до точки выхода на другом). В случае с прототипом происходит одновременное внедрение лезвия в материал по всей ширине. Это позволяет уменьшить ударные нагрузки на режущую кромку и, соответственно, скорость ее износа, что позволяет дополнительно увеличить период стойкости инструмента. Установка ножей с прямыми кромками в корпус фрезы проще сложного процесса установки ножей с криволинейными кромками на одну окружность резания в составе одного комплекта.

Следует отметить, что согласно ГОСТ 25762-83 [3] необходимо различать статические и кинематические передние и задние углы резания (γ_c , α_c , γ_k , α_k соответственно), которые измеряются в статической и кинематической системах координат.

Установка ножей под углом к направлению подачи материала ведет к уменьшению деформации стружки и повышению скорости обработки за счет уменьшения кинематического угла резания δ_k . В то же время передний и задний углы в кинематической системе координат становятся переменными величинами в течение взаимодействия режущей кромки с материалом. В начальный момент времени в точке врезания γ_k минимален, по мере формирования стружки он возрастает и достигает максимума на выходе режущей кромки из материала. Задний угол α_k в точке врезания максимален, по мере формирования стружки он уменьшается и достигает минимума на выходе режущей кромки из материала. Поскольку оптимальный режим резания обеспечивается при кинематических углах $\alpha_k \geq 15$ град, а $\gamma_k \geq 5$ град, то для обеспечения требуемой величины этих параметров $\gamma_k \geq 5$ град задается в точке врезания, а $\alpha_k \geq 15$ задается в точке выхода режущей кромки из обрабатываемого материала. Это позволяет осуществлять процесс фрезерования в оптимальных режимах по всей обрабатываемой поверхности.

Таким образом, предлагаемый способ существенно упрощает технологический процесс изготовления криволинейного профиля и позволяет повысить качество обрабатываемой поверхности.

На рис. 4 приведена схема поперечного сечения фрезы с ножом, установленным под углом к направлению подачи материала.

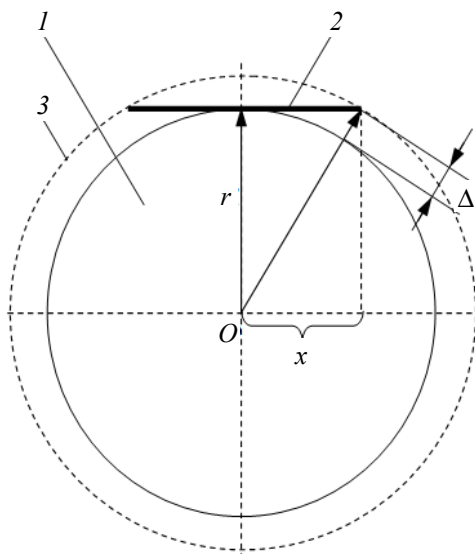


Рис. 4. Схема изменения радиуса резания в поперечном сечении фрезы:
 1 – корпус фрезы; 2 – режущая кромка;
 3 – окружность вращения с максимальным радиусом;
 O – ось вращения; r – радиус в точке поворота ножа; Δ – изменение радиуса;
 x – текущая координата

Согласно рис. 3 на корпус фрезы установлен нож с режущей кромкой под углом θ к направлению движения подачи X обрабатываемого материала. Вращение режущей кромки вокруг оси вращения O формирует фигуру вращения с образующей в виде функции 2-го порядка. На оси вращения ножа радиус r получаемой кривой минимален. Радиус вращения текущей точки режущей кромки от оси вращения ножа до периферии изменяется, принимая максимальную величину у края материала или режущей кромки на величину $r + \Delta$. Направление вращения фрезы показано фигурной стрелкой. При подаче материала в направлении X режущая кромка врезается в материал. По мере вращения фрезы и одновременной подачи материала область взаимодействия режущей кромки с материалом перемещается по длине режущей кромки лезвия, при этом образуется криволинейная поверхность на материале, сопряженная с фигурой вращения.

Таким образом, при реализации заявляемого способа задаются требуемые параметры профиля шириной B и изменение конечного радиуса фигуры вращения, а затем с учетом радиуса r фигуры вращения рассчитывается требуемое значение угла наклона кромки θ . Ножи устанавливаются в корпус фрезы с соблюдением заявляемых значений установочных углов γ и α , после чего проводится обработка материала. Особенностью ширины B является то, что этот

параметр отражает не полную ширину материала, а лишь ту ее часть, на которой изменяется величина радиуса r .

При проектировании инструмента предлагается угол наклона кромки θ к направлению подачи определять из выражения

$$\theta = \arctg \frac{B}{\sqrt{2r\Delta + \Delta^2}}. \tag{1}$$

При этом минимальный радиус резания r определяется исходя из неравенства

$$r \geq \frac{V}{\omega}, \tag{2}$$

где V – скорость резания материала, м/с; ω – частота вращения шпинделя, c^{-1} .

При проектировании инструмента статический главный задний угол α_c и статический главный передний угол γ_c на оси вращения ножа с радиусом резания r (с целью соблюдения на всей длине обработки профиля статических главных заднего и переднего углов $\alpha_c > 10$ град и $\gamma_c > 5$ град) необходимо выбрать исходя из следующих неравенств:

$$\gamma_k(0) \geq \arctg \left[\operatorname{tg} \left(5 \cdot \frac{\pi}{180} - \chi \right) \cdot \sin \theta \right], \tag{3}$$

$$\alpha_k(0) \geq \arctg \left[\frac{\operatorname{tg} \left(10 \cdot \frac{\pi}{180} + \chi \right)}{\sin \theta} \right], \tag{4}$$

где $\chi = \arctg \frac{x \cdot \operatorname{ctg}(\theta)}{r}$; x – удаление осевой координаты режущей кромки согласно рис. 5 ($x = [B / 2; -B / 2]$).

При этом должна обеспечиваться следующая зависимость (5):

$$\alpha_k(0) + \gamma_k(0) = \pi / 2 - \beta, \tag{5}$$

где β – угол заострения ножа согласно [3], рад.

Постановка эксперимента. Для выполнения испытаний предлагаемого способа обработки изделий из массива древесины была использована экспериментальная установка на базе машины Unimat 23EL, а также инструмент, который описан в работе [4]. Для изготовления были выбраны два профиля деталей с симметричной шириной ($2B$) 20 см (изделия типа 1 и типа 2) при изменении высоты профиля (Δ) 5 мм (изделие типа 1) и 8 мм (изделие типа 2). Расчетные значения θ при этом составили 69 и 63,5 град, соответственно. Обработку проводили на станке при скорости подачи 20 м/мин и скорости вращения инструмента 8000 мин^{-1} . Угол заострения ножа β составил 38 град.

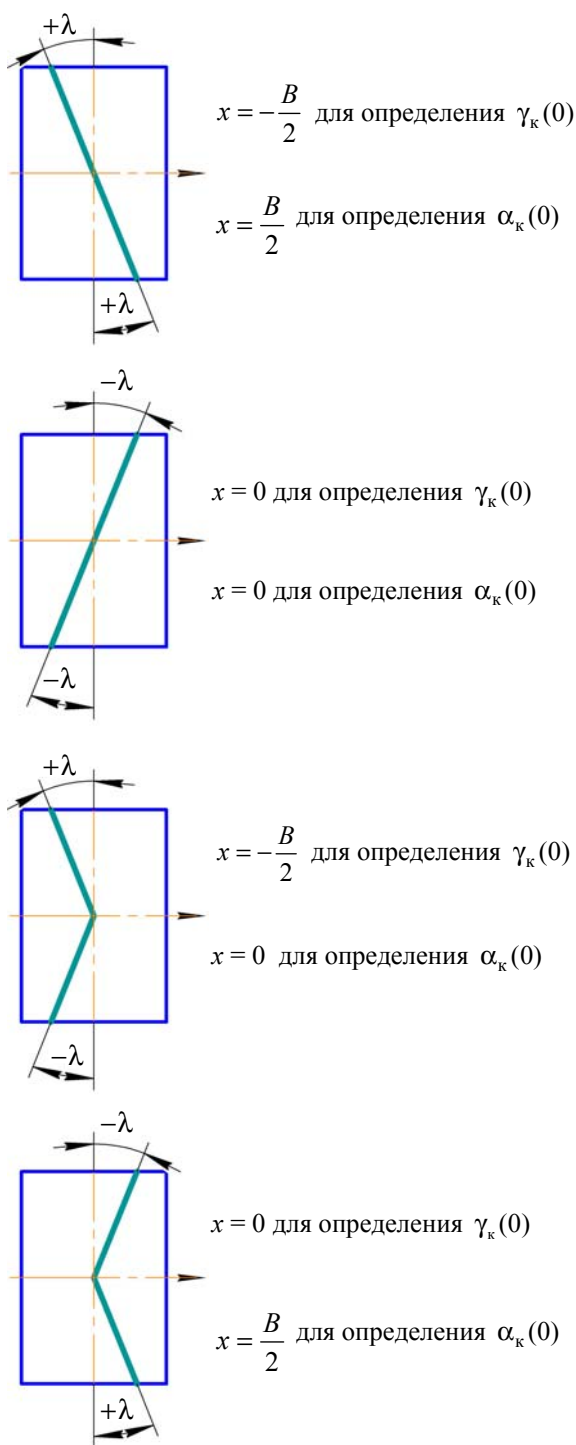


Рис. 5. Способ выбора x при определении углов по зависимостям (3) и (4)

В точке врезания задавали передний угол $\gamma_k = 10$ град для изделий обоих типов. По мере вращения фрезы и образования стружки передний угол в точке взаимодействия ножа с обрабатываемым материалом увеличивается, что обеспечивает выполнение неравенства $\gamma_k \geq 10$ град. Задний угол $\alpha_k = 15$ град задавали в точке выхода ножа из обрабатываемого материала, когда он минимален, что обеспечивало

выполнение неравенства $\alpha_k \geq 15$ град. Минимальный радиус (r) фигуры вращения режущей кромки составил 150 мм, а минимальный припуск на обработку составил 2 мм. Качество сформированной поверхности определяли визуально с помощью лупы при трехкратном увеличении, а также путем измерения шероховатости на профилографе Hommel Tester T1000. Критерием качества обработки был выбран выход изделий высшего сортамента с шероховатостью R_{max} не более 80 мкм. Стойкость ножей до потери режущей способности (до переточки) определяли в погонных метрах обработанного материала на основании появления дефектов типа ворсистости, мшистости или прижегов. Общую стойкость ножей или срок службы определяли как произведение стойкости на количество переточек до полного износа.

Заточка ножей с плоской кромкой производится на универсально-заточном станке модели 3В642.

В процессе подготовки необходимо было обеспечить радиус округления режущих кромок 6–8 мкм (согласно работе [5]), постоянство угла заострения $\beta (\pm 1^\circ)$, прямолинейность кромок (0,05 мм на длине 1000 мм) и шероховатость заточенных поверхностей (параметр R_a не должен превышать 32–63 мкм). Ножи восстанавливались путем снятия слоя материала с его передней поверхности. Снятие слоя материала производилось периферией шлифовального круга чашечной формы (марка АС 100СМ1К8 ПП140×20×32). В этом случае площадь контакта круга с ножом минимальна и опасность перегрева уменьшется. Известно, что пластины из твердых сплавов типа ВК с низким содержанием связующего плохо магнитятся, что делает невозможным крепление их на магнитном столе. По этой причине пластины крепились механически при помощи поворотных тисков.

Контроль качества подготовки инструмента заключался в измерении угла заострения, равномерности ширины ножа и остроты режущей кромки. Угол заострения измеряли угломером с точностью до 0,10. Ширину ножа (мм) измеряли штангенциркулем у краев ножа. Разность результатов измерения делили на длину ножа (мм) и умножали на 1000. Относительная погрешность ширины не превышала 0,1 мм на длине 1000 мм.

При контроле прямолинейности нож прикладывали лезвием к поверочной плите. Щупами измеряли наибольший зазор между лезвием и плитой. Измеренная величина зазора, деленная на длину контролируемого участка (мм), не превышала 0,025. Для измерения глубины механических разрушений использовался инструментальный микроскоп с нижней подсветкой.

Таблица 1

Сравнительные характеристики качества продукции

Тип ножей	Тип изделий	Количество продукции высшего сорта, %	Средняя стойкость ножей до восстановления, м пог.	Срок службы ножей, м пог.	Количество переточек
Плоские	1	95	6 549	124 431	19
	2	91	7 347	146 940	20
Профильные	1	73	5 352	80 280	15
	2	69	4 837	72 555	15

При проведении эксперимента стойкость инструмента во время обработки древесины со сны влажностью $12 \pm 1\%$ определялась количеством обработанного материала после восстановления ножей до роста мощности на обработку на 50%. При этом визуально контролировалось качество обработанных поверхностей.

Результаты испытаний представим в таблице.

Заключение. Из приведенных данных видно, что предлагаемый способ обеспечивает более высокое качество обработки поверхности при одновременном увеличении стойкости но-

жей. Кроме того, поскольку трудоемкость переточки фасонных ножей выше, чем прямых, общие трудозатраты на восстановление стойкости инструмента при использовании заявляемого способа существенно ниже.

Таким образом, получение радиусных поверхностей прямыми ножами позволяет не только снизить трудозатраты на фрезерование, но также как и при использовании упрочняющих технологий повысить стойкость дереворежущего инструмента. Данный факт был отражен в заявке на патент [6].

Литература

1. Кузнецов И. И. Способ обработки детали: патент 2351441 РФ. Оpubл. 10.04.2009. Бюлл. 10.
2. Кряжев Н. А. Фрезерование древесины. М.: Лесная пром-сть. 1979. 200 с.
3. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий: ГОСТ 25762-83. Введ. 01.07.84. М.: Госстандарт, 1983. 45 с.
4. Новая конструкция энергоэффективного фрезерного инструмента с изменяемыми углами передним и наклона кромки для обработки древесных материалов / А. А. Гришкевич [и др.] // Вестник БарГУ. Вып. 3. 2015.
5. Гриневиц С. А., Раповец В. В., Алифировец Г. В. Исследование затупления двухлезвийного режущего инструмента фрезерно-брусующих станков и его влияние на касательную силу резания // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 258–262.
6. Способ изготовления профильных деталей из древесины и древесных материалов с использованием плоских ножей: Заявка №а 20170511 от 28.12.2017 (А. В. Белый, А. А. Гришкевич, В.Н. Гаранин, С.Ф. Сенько). 2017.

References

1. Kuznetsov I. I. *Sposob obrabotki detali* [Method of processing details]. Patent RF, no. 2351441. 2009.
2. Kryazhev N. A. *Frezerovaniye drevesiny* [Wood milling]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1979. 200 p.
3. GOST 25762-83. Cutting treatment. Terms, definitions and symbols of General concepts. Moscow, Gosstandart Publ., 1983. 45 p. (In Russian).
4. Grishkevich A. A., Rapovets V. V., Garanin V. N., Anikeenko A. F. New construction energy efficient milling tool with variable angles and a front bevel edge for processing wood-based materials. *Vestnik BarGU* [Bulletin of the Bargu], 2015, issue 3 (In Russian).
5. Grinevich S. A., Rapovets V. V., Alifirovets G. V. The research of blunting of double-blade cutter of chipper machines and its impact on tangential cutting force. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 258–262 (In Russian).
6. Grishkevich A. A., Garanin V. N., Sen'ko S. F. *Sposob izgotovleniya profil'nykh detaley iz drevesiny i drevesnykh materialov s ispol'zovaniyem ploskikh nozhey* [A method of manufacturing a profiled details from wood and wood materials using flat knives], no. 20170511, 2017.

Информация об авторах

Гаранин Виктор Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: garanin@wmt.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

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: hasper@tut.by

Болочко Дмитрий Леонидович – магистрант 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

Garanin Viktor Nikolaevich – 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: garanin@wmt.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

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: hasper@tut.by

Bolochko Dmitriy Leonidovich – Master of Engineering, 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 12.03.2018

УДК 674.055:621.914.28

А. А. Гришкевич, С. А. Гриневич, Г. В. Алифировец
Белорусский государственный технологический университет

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ**

В данной статье приведены конструкции режущего инструмента для профилирующих машин линий агрегатной переработки древесины с целью снижения энергозатрат на процесс фрезерования.

Цилиндрические фрезы предназначены для переработки бревен с получением плоской или ступенчатой поверхности обработки. Они представляют собой набор дисков, оснащенных ножами. Основные достоинства цилиндрических фрез: возможность получения профильного бруса, выборка четвертей у бруса, относительная простота конструкций фрез в целом и ножей в частности. Профилирование представляет собой процесс механической обработки двух или четырехкантных брусьев цилиндрическими фрезами с целью придания им ступенчатой формы, упрощающей процесс дальнейшей переработки. Последующая распиловка ступенчатого бруса позволяет получить обрезные материалы без применения специализированного оборудования.

Ключевые слова: фрезерование, фреза, станок, мощность, угловые параметры.

A. A. Grischkevich, S. A. Grinevich, G. V. Alifirovets
Belarusian State Technological University

**DEVELOPMENT OF THE ADAPTIVE MILLING TOOL
FOR STUDYING THE PROCESS OF CYLINDRICAL MILLING
UPON RECEIPT OF PROCESS CHIPS**

This article presents the design of the cutting tool for the profiling machine lines of aggregate wood processing in order to reduce energy consumption for the milling process.

Cylindrical cutters are intended for processing of logs with receiving a flat or step surface of processing. They are a set of discs equipped with knives. The main advantages of cylindrical cutters: the possibility of obtaining a profile bar, a sample of quarters from the bar, the relative simplicity in the design of cutters in General and in particular. Profiling is a process of machining two or four-channel bars with cylindrical cutters in order to give them a step shape that simplifies the process of further processing. The subsequent sawing of a step bar allows to receive cut materials without use of the specialized equipment.

Key words: milling, milling, milling machine, power, angular parameters.

Введение. Режущий инструмент придает заготовке нужную форму и размеры. Его работоспособность и надежность оказывают существенное влияние на экономическую эффективность производства. Основные требования, предъявляемые к режущим инструментам, определяются их служебным назначением: способностью выполнять требуемые функциональные действия.

Возможности процесса резания обрабатываемой заготовки обеспечиваются материалом режущей части инструмента, а также правильным выбором его геометрических параметров. Получение требуемой формы, размеров и качества обработанной поверхности детали обеспечивается конструкцией инструмента и особенностями крепления, базирования и регулирования инструмента на размер. Экономическая

эффективность режущего инструмента определяется производительностью обработки и ее себестоимостью. Производительность определяется режимом обработки, т. е. уровнем скорости резания, подачи, глубины резания. Себестоимость обработки детали зависит как от конструктивных особенностей инструмента, так и от трудоемкости его изготовления и возможности восстановления режущих свойств в ходе эксплуатации. На многих крупных предприятиях лесной и деревообрабатывающей отрасли Республики Беларусь установлены линии агрегатной переработки древесины. Как правило, в технологический процесс переработки сырья на данном оборудовании входит операция профилирования. Профилирование представляет собой процесс механической обработки двух или четырехкантных брусьев цилинд-

рическими фрезами с целью придания им ступенчатой формы, упрощающей процесс дальнейшей переработки. Последующая распиловка ступенчатого бруса позволяет получить обрезные материалы без применения специализированного оборудования [1].

Основная часть. Целью работы является разработка конструкции режущего инструмента для профилирующих машин линий агрегатной переработки древесины с целью снижения энергозатрат на процесс фрезерования.

Профиляторы представляют собой фрезерные агрегаты, расположенные с двух сторон перерабатываемого материала и формирующие ступенчатую поверхность методом продольно-торцевого цилиндрического полузакрытого фрезерования. Режущим инструментом профиляторов являются цилиндрические фрезы с плоскими ножами. Проведенный авторами литературный обзор не выявил влияние осевого угла на мощностные и силовые параметры процесса фрезерования и также конструкций инструмента, применяемых на профиляторах с возможностью изменения угловых параметров.

Обзор конструкций режущих элементов фрез для агрегатной переработки древесины позволил установить угловые параметры ножей: угол заострения $\beta = 32\text{--}36^\circ$, передний угол $\gamma = 40\text{--}45^\circ$ [1].

На процесс резания древесины плоскими ножами на фрезерно-брусующих станках оказывают влияние много факторов, среди которых можно выделить три основные группы:

1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства породы древесины – предел прочности при сжатии, скалывании вдоль волокон, твердость, ударная вязкость, влажность, анизотропия и др.);

2) факторы, относящиеся к режущему инструменту (геометрические параметры ножа, углы резания, марка стали и пр.);

3) режимы резания или обработки (скорость главного движения, скорость подачи) [2].

На территории предприятия «Борисовский ДОК» установлена современная фрезерно-брусующая линия фирмы LINCK (рис. 1) производства Германии, в состав которой входит фрезерно-пильный станок VPS (рис. 2).

Условия эксплуатации режущего ножевого инструмента на станке VPS 22 линии LINCK (ОАО «Борисовский ДОК») во многом определяются кинематикой взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом на дуге контакта. На рис. 3 представлена кинематическая схема механизма резания VPS 22.

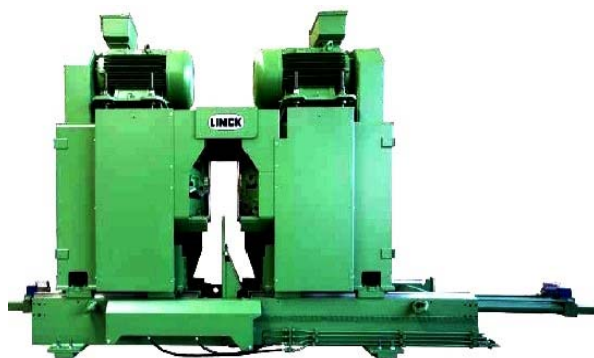


Рис. 1. Фрезерно-брусующая линия LINCK



Рис. 2. Фрезерно-пильный станок VPS

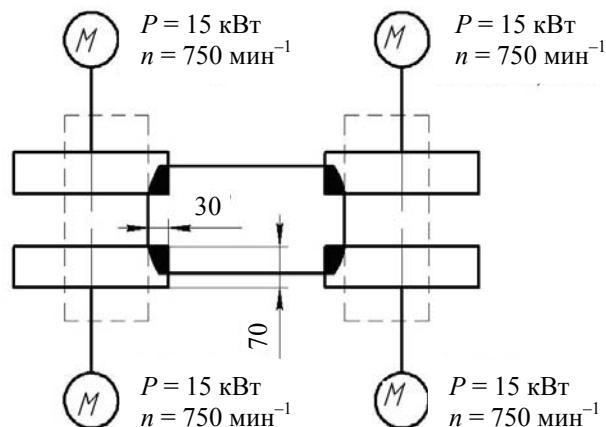


Рис. 3. Кинематическая схема механизма резания VPS 22

Рассмотрим несколько вариантов фрезерного инструмента для возможного использования на станке VPS 22 с целью снижения энергозатрат на процесс фрезерования.

Вариант 1. Проектируемая фреза сборная с адаптивными свойствами состоит из трех основных элементов (рис. 4).

Расчет элементов крепления инструмента заключается в нахождении напряжения на срез ступеньки ножедержателя (расчетная схема представлена на рис. 5):

$$\tau_{cp} = \frac{F}{S},$$

где F – сумма сил, действующих на ножедержатель, Н; S – площадь среза ножедержателя, мм².

$$\tau_{cp} = \frac{7497,9}{304,5} = 24,6.$$

Произведены расчеты напряжения на срез ступеньки ножедержателя. Их значения составляют: $\tau_{cp} = 24,63$ МПа; и $\tau_{cp} = 10,48$ Мпа соответственно при допускаемом напряжении на срез $[\tau_{cp}] = 60$ МПа.

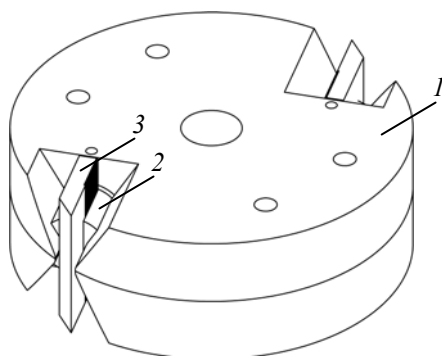


Рис. 4. Сборная фреза с адаптивными свойствами:
1 – корпус фрезы; 2 – ножедержатель; 3 – нож

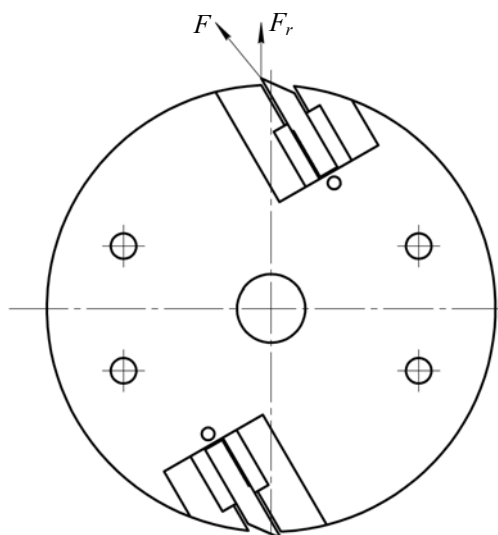


Рис. 5. Расчетная схема

Вариант 2. Проектируемая сборная фреза с изменяемыми угловыми параметрами состоит из трех основных элементов (рис. 6).

Под действием силы инерции во фрезе будут возникать радиальные и тангенциальные напряжения, которые определяются по формуле [3] (рис. 7):

$$\sigma_r = \frac{\gamma \cdot \omega^2}{8} \cdot (3 + \mu) \cdot (r_0^2 + r_1^2 - \frac{r_0^2 \cdot r_1^2}{r^2} - r^2),$$

где γ – плотность материала, кг/м³; μ – коэффициент Пуассона; r – радиус рассчитываемого сечения.

Рассчитаны элементы крепления на прочность и получены следующие значения напряжений: $\sigma_r = 11\,058\,773,9$ Па; $\sigma_t = 19\,609\,655,5$ Па; $\sigma_{cp} = 18\,259\,023$ Па.

Вариант 3. Фреза сборная с изменяемым углом наклона кромки (рис. 8).

На рис. 9 представлена расчетная схема фрезы сборной с изменяемыми углами наклона кромки.

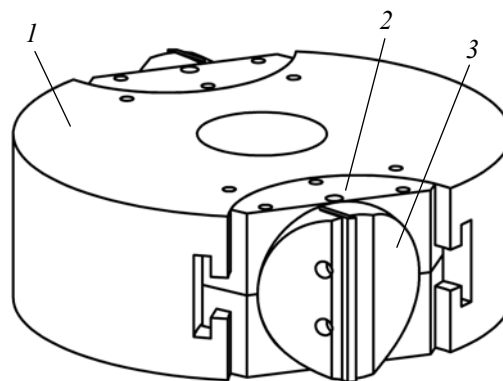


Рис. 6. Фреза сборная с изменяемыми угловыми параметрами:
1 – корпус фрезы; 2 – поворотный сегмент, состоящий из двух половин; 3 – ножедержатель

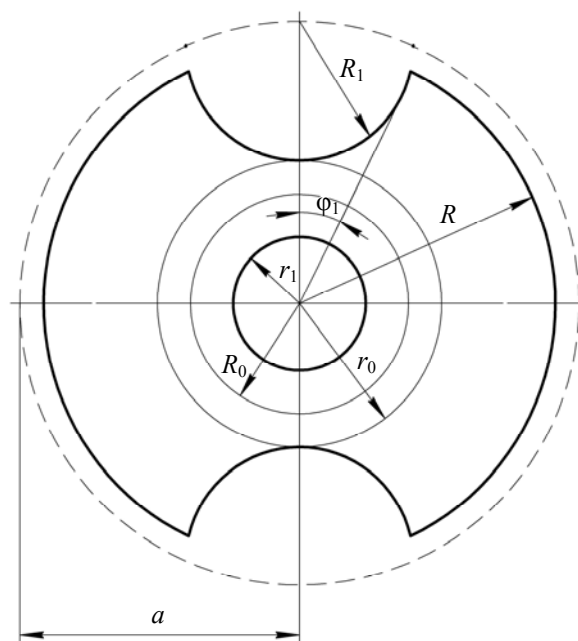


Рис. 7. Расчетная схема фрезы на прочность

Определяем, какую силу затяжки нужно обеспечить, чтобы нож не вылетел с корпуса фрезы, при этом у нас должно выполняться условие

$$F_{тр} \geq -F_{ин} \cdot \sin \gamma + F_t \cdot \cos \gamma + F_R \cdot \sin \gamma.$$

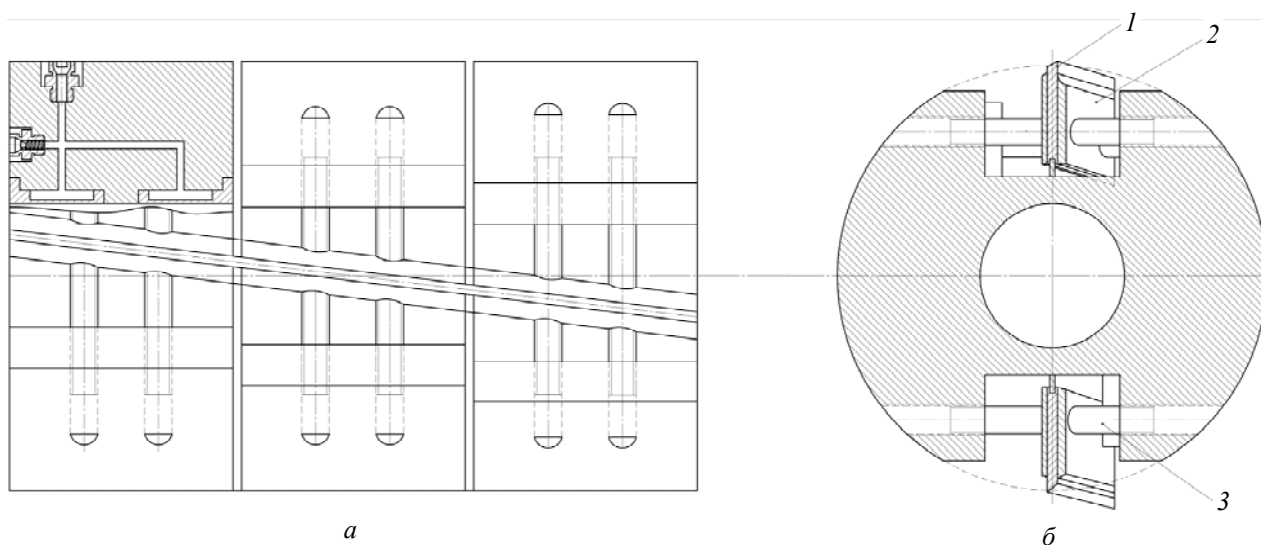


Рис. 8. Фреза сборная с изменяемым углом наклона кромки:

1 – нож; 2 – сектор фрезы; 3 – винт

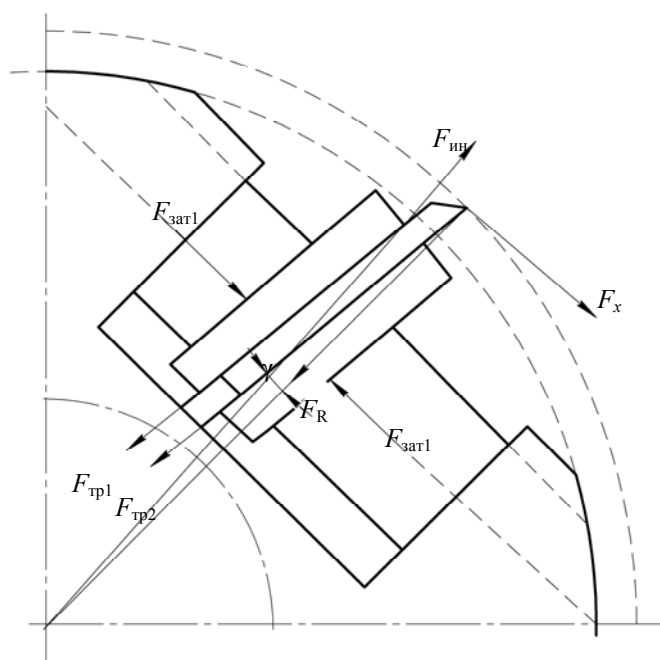


Рис. 9. Расчетная схема

Определяем необходимый диаметр винта

$$d_b = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{заг}}}{[\tau_{\text{ср}}] \cdot \pi}}$$

где $[\tau_{\text{ср}}]$ – допускаемое значение на срез. Произведен расчет фрезерного инструмента с изменяемым углом наклона кромки: расчет необходимого диаметра винта $d_b = 8$ мм, сила затяжки для одного винта $F_{\text{заг}} = 5296,6$ Н.

Выводы. 1. Передний угол, задний угол и угол наклона кромки приводят к уменьшению силы и мощности резания.

2. Разработанные конструкции адаптивного сборного фрезерного инструмента имеют возможность изменять угловые параметры.

3. Проведенные теоретические расчеты новых конструкций фрез, позволяющих воспроизводить технологические режимы машины VPS 22, отвечают требованиям техники безопасности.

Литература

1. Раповец В. В. Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / В. В. Раповец. Минск, 2011. 187 с.

2. Боровиков Е. М., Фефилов Л. А., Шестаков В. В. Лесопиление на агрегатном оборудовании. М.: Лесная пром-сть, 1985. 216 с.

3. Гришкевич А. А., Клубков А. П. Проектирование и производство дереворежущего инструмента. В 3-х ч. Ч. 1. Минск: БГТУ, 2005. 166 с.

References

1. Rapovets V. V. *Kompleksnaya obrabotka drevesiny frezami so spiral'nym raspolozheniem sbornykh dvukhlezviynykh nozhey, obespechivayushchaya kachestvo produktsii i snizheniye energozatrar. Dis. kand. tekhn. nauk* [Complex wood processing mills with a spiral arrangement of prefabricated double-edge knives, to ensure product quality and reduction of energy consumption. Kand. Diss.]. Minsk, 2011. 187 p.

2. Borovikov E. M., Fefilov L. A., Shestakov V. V. *Lesopileniye na agregatnom oborudovanii* [Sawmill on agerate]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1985. 216 p.

3. Grischkevich A. A., Klubkov A. P. *Proektirovaniye i proizvodstvo derevorezhushchego instrumenta* [Desing and manufacture of wood guting]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 166 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

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 – аспирант 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, Republik 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 – PhD student, 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 14.03.2018

УДК 630*377.4

Ю. А. Ким, В. А. Бобрович, Б. В. Войтеховский, В. С. Исаченков
Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ШИНАХ КОЛЕС
НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЯТНА КОНТАКТА
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

В связи с ростом энергонасыщенности сельскохозяйственных машин, пропашных тракторов и тракторов специального назначения возрастает их масса, следовательно, увеличиваются нагрузки их ходовых систем на опорную поверхность. В результате этого возникают такие негативные явления, как переуплотнение почвогрунта выше допустимых норм, энергозатраты на передвижение.

В статье рассматриваются и рекомендуются пути повышения эксплуатационных качеств машин путем регулирования давления воздуха в шинах колес в пределах, допустимых заводом-изготовителем. Существующие на сегодняшний день способы снижения максимального давления в пятне контакта пневматической шины с деформируемой опорной поверхностью заключаются в увеличении площади пятна контакта за счет роста габаритных размеров шины либо сдваиванием колес. Оба способа имеют ряд положительных и негативных явлений, например повышение сопротивления повороту. Оборудование тракторов гусеничным ходом влечет за собой значительное удорожание ходовых систем.

Наиболее доступным и эффективным путем повышения эксплуатационных качеств сельскохозяйственных машин, пропашных тракторов и тракторов специального назначения является способ автоматического регулирования давления воздуха в шине колес в процессе движения путем установки системы централизованной накачки шин. Регулирование величины значений давления воздуха в шине следует производить в пределах, допустимых заводом-изготовителем.

Ключевые слова: давление воздуха, шина колеса, пятно контакта, геометрические параметры, опорная поверхность, ходовая система.

Yu. A. Kim, V. A. Bobrovich, B. V. Voytekhovskiy, V. S. Isachenkov
Belarusian State Technological University

**IMPACT OF AIR PRESSURE SIZE IN TIRE WHEELS
ON THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE SPOT OF CONTACT
WITH INTERACTION WITH SUPPORT SURFACE**

In connection with the growth of energy saturation of agricultural machines, row tractors and special purpose tractors, their mass increases, and consequently the loads of their running systems increase on the supporting surface. As a consequence, there are such negative phenomena as overgrazing of soil above permissible norms, there are energy costs for movement.

The article considers and recommends ways to improve the performance of machines by adjusting the air pressure in the tires of the wheels, within the limits allowed by the manufacturer. Current methods of reducing the maximum pressure in the contact spot of a pneumatic tire with a deformable bearing surface is to increase the area of the contact spot by increasing the overall dimensions of the tire, or by doubling the wheels. Both methods have a number of both positive and negative phenomena, such as increased resistance to rotation. The equipment of tractors by caterpillar travel entails a considerable rise in the cost of running systems.

The most affordable and effective way to improve the performance of agricultural machines, tractors and tractors of special purpose is the method of automatically adjusting the air pressure in the tire wheel during driving, by installing a system of centralized tire inflation. Adjustment of the value of air pressure in the tire should be carried out within the limits allowed by the manufacturer.

Key words: air pressure, tire wheel, contact spot, geometric parameters, bearing surface, running system.

Введение. С ростом энергонасыщенности сельскохозяйственных машин, пропашных тракторов и тракторов специального назначения возрастает их масса. Все более и более остро ставится вопрос их экономичности и энергосбережения. Одновременно возрастает уплотняющее воздействие ходовых систем этих машин на почву. Данная проблема вызывает обоснованную тревогу агротехников и

почвоведов. В плодородных слоях почвы возникает эффект накопления напряжений, в результате чего в худшую сторону изменяется структура пахотного слоя. Как итог – возникают негативные явления, такие как эрозия почвы и снижение урожайности. Степень уплотнения почвы зависит от возникающих в ней напряжений при взаимодействии с ходовыми системами.

Мероприятия по снижению величин напряжения в почвогрунтовой основе одновременно приводят к снижению затрат мощности в общем балансе на передвижение трактора, а следовательно, к повышению экономичности [1–4].

Существует понятие «агротехническая проходимость», по которой оценивается влияние воздействия ходовой системы трактора на урожайность тех или иных сельскохозяйственных культур [5, 6].

Основная часть. Для оценки уровня воздействия ходовой системы на почву используются такие показатели, как среднее давление $q_{\text{ср}}$ и максимальное давление q_{max} . Величина последнего определяется экспериментальными исследованиями либо теоретическим путем. Именно этот показатель, по мнению многих исследователей, является определяющим с точки зрения колееобразования и сопротивления качению колесного движителя [7, 8].

В настоящее время существует ряд способов, позволяющих снизить величину давления, оказываемого движителями ходовых систем на опорную поверхность. В большинстве случаев они сводятся к увеличению площади пятна контакта движителя с опорной поверхностью. Этот путь, по нашему мнению, приводит к ряду негативных явлений, например к повышенному сопротивлению повороту и т. д. Увеличение деформативных свойств пневматического колесного движителя является весьма эффективным средством снижения величины давления в пятне контакта.

Величина давления в контакте пневматической шины с деформирующейся опорной поверхностью, которой является почвогрунт, в основном зависит от величины давления воздуха в шине и составляет приблизительно 125% от нее. Повышение величины контактного давления по отношению к величине давления воздуха в шине объясняется влиянием жесткости самой оболочки шины.

Таким образом, одним из наиболее эффективных и доступных средств снижения величины давления на почвогрунт является, по нашему мнению, автоматическое регулирование давления воздуха в шинах колес ходовых систем в пределах допустимой заводом-изготовителем деформации шины.

Поддержание оптимальной деформации шины независимо от нагрузки на колесо способствует более равномерному распределению давления на почвогрунт, снижает величину максимального давления, а следовательно, глубину погружения колеса и силу сопротивления качению. Кроме того, при выполнении технологического процесса машинами происходит уменьшение вертикальной нагрузки на колесо, что вызывает изменение деформации шин.

Таким образом, повышение эксплуатационных качеств рассматриваемых машин связано в первую очередь с исследованием процесса взаимодействия движителя с опорной поверхностью, влиянием его размеров, давления воздуха в шинах и нагрузок на форму и размеры пятна контакта, а следовательно, на характер распределения давления, сопротивление качению и глубину колеи [9, 10].

Комплексной характеристикой взаимодействия колеса с опорной поверхностью принято считать сопротивление качению [11]. Для получения картины распределения контактных напряжений используются известные методы хорошо разработанной теории упругости, с помощью которых составляются уравнения равновесия реакции почвогрунта и сил, приложенных к оси колеса. В общем случае почвогрунт принимается в виде вязко-упруго-пластичной среды, но при небольшом интервале времени воздействия нагрузки наиболее ярко проявляются его упругие свойства. Однако при длительном воздействии нагрузки почвогрунт ведет себя как реологическое тело.

Принятие расчетных схем распределения давления, а также предположение о его равномерном распределении по площади пятна контакта и другие допущения упрощают решение задачи, но при этом снижается точность решения. Очевидно, что вышеназванные параметры следует получать из условия взаимодействия, а не принимать их на основании предположений. Так, например, А. К. Бируля предлагает считать форму поверхности контакта в виде поверхности кругового цилиндра. Поверхность арочной шины представляется в виде сферы [12] и др.

Однако Г. А. Хайлис [13] показал, что линия контакта с деформируемой опорной поверхностью представляет собой сложную кривую, которая не является частью окружности и определяется по формуле

$$\rho = \frac{R}{1 + \xi \cos \alpha} + \frac{R - h_{\text{ш}} - h_{\text{к}}}{\cos \alpha + \frac{1}{\xi}} = \frac{R + \xi(R - h_{\text{к}} - h_{\text{ш}})}{1 + \xi \cos \alpha}, \quad (1)$$

где R – радиус недеформированной шины; $h_{\text{ш}}$ – наибольшая деформация шины; $h_{\text{к}}$ – наибольшая глубина колеи; ξ – отношение коэффициента объемного смятия почвы и объемного смятия шины.

При взаимодействии пневматического колеса с основанием почвогрунта происходит взаимная деформация контактирующих тел. Колесо погружается в грунт до тех пор, пока не наступит равновесие между силами, действующими в месте контакта, и силами, приложенными к оси колеса.

В процессе взаимодействия каждая частица почвогрунта перемешивается по сложной траек-

тории. При этом, чем больше размеры колеса, тем больше преобладают вертикальные перемещения. Процесс взаимодействия пневматического колеса отличается от взаимодействия жесткого деформацией шины, которая зависит от давления воздуха, величины контактных напряжений и податливости шины. На рис. 1 показана модель деформации пневматической шины при контакте с деформируемым основанием.

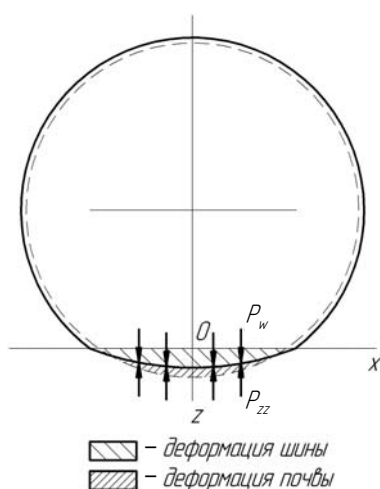


Рис. 1. Схема деформации шины

Полная деформация шины в данной точке $\Delta_{ш}$ определяется формулой

$$\Delta_{ш} = C(P_{zz} + P_w), \quad (2)$$

где C – податливость шины от действия единичной равнодействующей внешних и внутренних сил в данной точке; P_{zz} – давление в контакте; P_w – давление воздуха в шине, при котором колесо ведет себя как жесткое; C_0 – податливость шины (при $P_w = 0$).

Податливость шины находим по формуле

$$C = C_0 \left(1 - \frac{P_w}{P_0} \right). \quad (3)$$

Величины значений P_{zz} и P_w различаются знаками, поскольку имеют противоположное направление действия. Таким образом, если

$$|P_{zz}| > |P_w|, \quad (4)$$

то происходит деформация шины во внутрь и выполняется условие

$$\Delta_{ш} = C(P_{zz} + P_w) < 0 \quad (5)$$

В этом случае деформация грунта под пневматическим колесом определяется как разность деформации под жестким колесом и деформацией шины. В точках пятна контакта, где

$$|P_{zz}| < |P_w|$$

и выполняется условие

$$\Delta_{ш} = C(P_{zz} + P_w) > 0,$$

шина деформируется наружу относительно размеров жесткого колеса, что соответствует физическому смыслу.

Суммарное давление P_{zz} по всей площади пятна контакта равно общей вертикальной нагрузке на колесо G .

Таким образом, от формы и размеров пятна контакта пневматической шины с деформируемой опорной поверхностью зависят такие важные эксплуатационные показатели, как величина и характер распределения напряжений, величина сопротивления качению. При этом форма и размеры пятна контакта должны получаться из условий взаимодействия контактирующих тел, а параметры пятна зависят от величины нагрузки на колесо G , конструкции и размеров шины, величины давления воздуха в шине P_w , механических характеристик опорной поверхности и ряда других факторов.

В общем случае понижение величины давления воздуха в шине приводит к снижению момента сопротивления качению колеса.

Однако чрезмерное понижение давления вызывает увеличение деформации шины выше допустимых значений, что влечет интенсивный износ и повышение гистерезисных потерь энергии в шине. Поэтому величина P_w должна поддерживаться в таком диапазоне, чтобы удовлетворялись оба условия.

Объектом исследования являлась крупногабаритная широкопрофильная шина Ф-82 (71×47-25) (рис. 2).

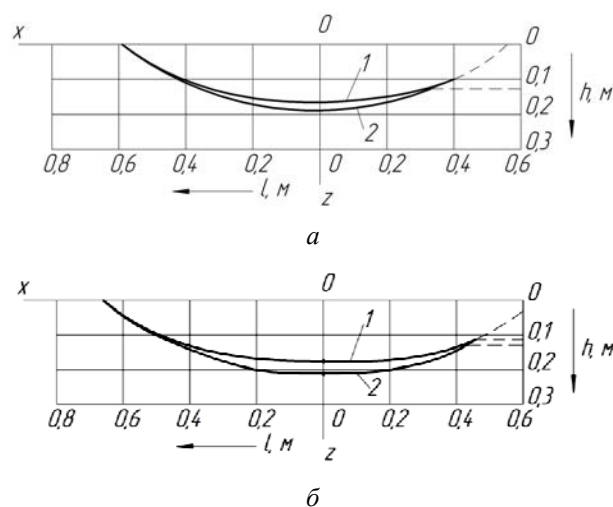


Рис. 2. Расчетные линии контакта пневматического колеса ($R = 0,9$ м; $B = 1,2$ м) с деформируемой опорной поверхностью ($E = 0,67$ МПа; $\delta = 0,2$):
 а – $G = 34$ кН; б – $G = 50$ кН;
 1, 2 – P_w соответственно 0,07 и 0,13 МПа

На рис. 2 представлены примеры расчетных линий поверхности пятна контакта при различных значениях величины P_W в плоскости вращения колеса.

Анализ показывает, что линия пятна контакта не является частью дуги окружности, а представляет собой произвольную кривую, форма которой может изменяться в зависимости от давления воздуха в шине и других параметров взаимодействия.

Заключение. Основным показателем, влияющим на величину погружения пневматического колеса в деформируемое опорное основание, является величина максимального давления в пятне контакта q_{\max} . В свою очередь от величины погружения колеса (глубины колеи) зависят также такие показатели, как сопротивление качению и уплотняющее воздействие на почвогрунт.

Снизить величину максимального давления возможно путем увеличения площади пятна контакта за счет изменения конструкции колеса либо путем сдвигания колес.

И то и другое влечет за собой ряд негативных явлений, например увеличение сопротивления повороту, что вызывает дополнительные энергозатраты. Сдвигание колес при снижении величины q_{\max} вызывает интегрирование напряжения внутри почвогрунтового основания.

Наиболее эффективным и доступным способом снижения величины q_{\max} является регулирование давления воздуха в шинах колес P_W на ходу путем установки системы централизованной накачки шин (ЦНШ). Регулирование P_W следует производить в пределах значений, допустимых заводом-изготовителем.

Литература

1. Рабочев И. С. Уменьшение отрицательного воздействия мобильных агрегатов на почву // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 4. С. 90–94.
2. Пупонин А. И., Матюк Н. Ф., Русанов В. А. Деформация дерново-подзолистой почвы ходовыми системами тракторов и урожай // Земледелие. 1981. № 6. С. 22–24.
3. Камнев А. Л., Маслов В. А., Полонский М. А. Влияние ходовых аппаратов тракторов на плотность почвы и урожайность // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1978. № 2. С. 74–78.
4. Бондарев А. Г. Изменение физических свойств и плодородия почв Нечерноземья под воздействием ходовых систем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 5. С. 8–10.
5. 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.
6. Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева. М., 1981. С. 56–61.
7. Ксеневич И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.
8. Бочаров Н. Ф. Транспортные средства на эластичных движителях. М.: Машиностроение, 1974. 208 с.
9. Омелянов А. Е. О применении пневматических колес на сельхозмашинах // Сельхозмашина. 1948. № 5. С. 15–18.
10. Ульянов Н. А. Теория самоходных землеройно-транспортных машин. М.: Машиностроение, 1969. 520 с.
11. Алексейчик Н. А., Будько Ю. В., Терехов Б. А. Повышение проходимости сельскохозяйственных машин. Минск: Урожай, 1979. 139 с.
12. Соколова В. А., Петров И. П. Исследование взаимодействия арочного колеса с опорной поверхностью // Труды НАМИ. 1962. Вып. 54. С. 64–72.
13. Хайлис Г. А. К теории качения пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. 1963. № 3. С. 5–7.

References

1. Rabochev I. S. 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. Puponin A. I., Matyuk N. F., Rusanov V. A. Deformation of sod-podzolic soil by tractors' tractors and harvesting. *Zemledeliye* [Agriculture], 1981, no. 6, pp. 22–24 (In Russian).
3. Kamnev A. L., Maslov V. A., Polonsky M. A. The influence of tractors' tractors on soil density and yields. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 1978, no. 2, pp. 74–78 (In Russian).

4. Bondarev A. G. Changes in physical properties and soil fertility of the Non-Black Earth Region under the influence of running systems. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 1983, no. 5, pp. 8–10 (In Russian).

5. Kononov A. M. *Issledovaniye realizatsii tyagovo-stsepynykh kachestv i agrotekhnicheskoy prokhodimosti kolesnykh traktorov na suglinistykh pochvakh Belarusi: 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. dr. tech. sci.]. Gorki, BSHA, 1974, 41 p.

6. Gaponenko V. S. On ways to reduce the sealing effect of machine-tractor aggregates on the soil. *Trudy Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva ("Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu")* [Proceedings Soil Institute. V. V. Dokuchaeva "Influence of agricultural machinery on soil"], 1981, pp. 56–61 (In Russian).

7. Ksenevich I. P., Skotnikov V. A., Lyasko M. I. *Khodovaya sistema – pochva – urozhay* [Running system – soil – harvest]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 304 p.

8. Bocharov N. F. *Transportnyye sredstva na elastichnykh dvizhiteleyakh* [Vehicles on elastic propellers]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1974, 208 p.

9. Omel'yanov A. E. On the use of pneumatic wheels on agricultural machines. *Sel'khoz mashina* [Agricultural machinery], 1948, no. 5, pp. 15–18 (In Russian).

10. Ul'yanov N. A. *Teoriya samokhodnykh zemleyno-transportnykh mashin* [Theory of self-propelled earth-moving machines]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1969, 520 p.

11. Alekseychik N. A., Bud'ko Yu. V., Terekhov B. A. *Povysheniye prokhodimosti sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Raising the passability of agricultural machines]. Minsk, Urozhay Publ., 1979, 139 p.

12. 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).

13. Haylis G. A. To the theory of the rolling of a pneumatic wheel. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 1963, no. 3, pp. 5–7 (In Russian).

Информация об авторах

Ким Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Бобрович Владимир Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.bobrovich@belstu.by

Войтеховский Борис Викторович – ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: b.voytehovski@belstu.by

Исаченков Владимир Сергеевич – ассистент 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

Kim Yuriy Alekseevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Bobrovich Vladimir Arkad'yevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.bobrovich@belstu.by

Voytekhovskiy Boris Viktorovich – assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.voytehovski@belstu.by

Isachenkov Vladimir Sergeevich – assistant 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 25.03.2018

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	5
Вицега Р. Р., Минкевич С. И. Анализ опыта внедрения и использования системы электронного учета заготовленной древесины в европейских странах	5
Зорин В. П. Модельные леса в Беларуси – цели и задачи их функционирования.....	13
Машковский В. П., Севрук П. В. Составление планов рубок леса на основе оценки среднего прироста	20
Севко О. А., Пупенко А. В. Сравнительный анализ показателей чистых и смешанных сосновых насаждений в условиях массового усыхания в подзоне широколиственно-сосновых лесов Беларуси	25
Севрук П. В. Динамика стоимости среднего прироста древесины ели при изменении индексов цен на древесину.....	31
ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО	37
Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Запас депонированного углерода как организационный элемент экологизированного лесопользования	37
Климчик Г. Я. Динамика возникновения пожаров в лесах различных фондодержателей Республики Беларусь	44
Левковская М. В., Сарнацкий В. В. Влияние лесозаготовительной техники на изменение водно-физических свойств почв сосняков мшистых в результате проведения проходных рубок	50
Луферов А. О., Лабоха К. В. Содействие естественному возобновлению как основной метод лесовосстановления в условиях усыхания сосны	56
Потапенко А. М., Усеня В. В. Лесовозобновительный потенциал дубрав Белорусского Полесья	63
Сарнацкий В. В. Лесоводственно-экономические аспекты выращивания лесов	69
ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ	78
Беспалый А. А., Соколовский И. В. Лесорастительные группы почв пойменных дубрав Белорусского Полесья	78
Граник А. М., Крук Н. К. Рост лесных культур сосны обыкновенной в зависимости от сроков посадки и вида посадочного материала	85
Носников В. В., Соколовский И. В., Домасевич А. А., Юрения А. В., Граник А. М., Селищева О. А., Романчук А. В. Использование метода кондуктометрии для оценки качества субстратов на основе верхового торфа	91
Решетников В. Ф., Старожишина К. М. Влияние клена остролистного на рост дуба черешчатого в смешанных насаждениях искусственного и естественного происхождения	98
Романчук А. В., Юрения А. В. Создание лесных культур сеянцами, выращенными с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия	103
Селищева О. А., Ларинина Ю. А., Хвасько А. В., Носников В. В. Сравнительная характеристика деревьев липы мелколистной разных фенологических форм	109
Штукин С. С. Лесовосстановление вырубок усыхающих ельников	116
ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО.....	121
Бурганская Т. М. Основные мероприятия системы дифференцированного ухода за корневой системой хвойных и лиственных деревьев маточных садов и дендропарков лесхозов Беларуси	121

ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО	128
Вонселев М. Ю., Подошвелев Д. А. Ревайлдинг белорусских природных ландшафтов: реинтродукция крупных травоядных животных	128
Гордей Д. В., Морозов О. В., Терёшкина Н. В. Опыт проведения омолаживающей обрезки голубики узколистной (<i>Vaccinium angustifolium</i> Ait.) в Белорусском Поозерье	133
Козорез А. И. Косуля в Беларуси: современное состояние и перспективы использования	143
Марчук В. А. Аспекты роста привлекательности Беларуси у иностранных туристов	150
Юшкевич Н. Т., Моцный В. В. Лесохотничье хозяйство Негорельского учебно-опытного лесхоза: состояние, проблемы, перспективы	156
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ	160
Голякевич С. А. Результаты исследования прочности и совершенствование конструкции технологической полурамы форвардера «АМКОДОР»	160
Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И., Цвирко М. В. Укрепление дорожных грунтов битумной эмульсией	168
Зимелис А., Арико С. Е., Савельев А. Исследование влияния различных факторов на поперечную устойчивость корчевателя	174
Коробкин В. А., Мохов С. П., Кононович Д. А., Арико С. Е. Результаты экспериментальных исследований машины для сбора лесосечных отходов	182
Лыщик П. А., Науменко А. И. Определение основных физико-механических свойств геосинтетических материалов	190
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	197
Барташевич А. А., Игнатович Л. В., Шетько С. В., Гайдук С. С. Декорирование элементов мебели и столярно-строительных изделий методом тиснения текстуры древесины и имитацией резьбы	197
Василевич В. Г., Мазаник Н. В. Отечественные и зарубежные методики анализа качества лакокрасочных покрытий для наружной отделки древесины	204
Божелко И. К. Физико-механические свойства комбинированных деревянных шпал	211
Веретиков И. И. Применение метода неразрушающего контроля при изучении влияния температурного воздействия на прочностные показатели фанерной продукции	218
Федосенко И. Г., Чесновский Е. В. Методика оперативного анализа состояния древесины построек	224
ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	230
Sobol' V. R., Bel'skiy S. E., Blokhin A. V., Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srour. The influence of impurities in metal alloys and frequency of the compelled fluctuations on the evolution of fatigue damage	230
Пиир А. Э., Козак О. А., Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б. Тепловой расчет пластинчатых рекуператоров для систем вентиляции	236
Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б., Данильчик Е. С. Сравнительный анализ методов расчета аппаратов воздушного охлаждения по обобщенным и частным уравнениям подобия теплоэродинамических исследований	244
Азовская Н. О., Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Исследование степени радиактивного загрязнения пищевой продукции леса и ее вклад в дозовую нагрузку населения	251
Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Мильман В. А., Бокуть Л. В. Повреждения подпорных гидротехнических сооружений на искусственных водоемах Беларуси как фактор риска гидродинамических аварий	259
Аникеенко А. Ф., Машорипова Т. А. Достоинства и недостатки современного инструмента для сверления Л-ДСтП	266
Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Болочко Д. Л. Режимы эксплуатации рефлекторного фрезерного инструмента с подвижным держателем ножа	270

Гришкевич А. А., Морозова О. И., Швед В. Т. Результаты исследований влияния технологических режимов шлифования древесины сосны на производительность инструмента и пути увеличения периода его стойкости.....	276
Гриневич С. А., Лукаш В. Т. Геометрическое моделирование затупления дереворежущего инструмента.....	284
Раповец В. В., Клепацкий И. К., Медведев С. В., Иванец Г. Г. Методика расчета мощности в программной среде LS-DYNA через мгновенные значения сил и скоростей резания при фрезеровании древесины	290
Гаранин В. Н., Гришкевич А. А., Аникеенко А. Ф., Болочко Д. Л. Технология применения фрезерного инструмента с прямыми ножами для изготовления криволинейных поверхностей	296
Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Алифировец Г. В. Разработка адаптивного фрезерного инструмента для исследования процесса цилиндрического фрезерования при получении технологической щепы	303
Ким Ю. А., Бобрович В. А., Войтеховский Б. В., Исаченков В. С. Влияние величины давления воздуха в шинах колес на геометрические параметры пятна контакта при взаимодействии с опорной поверхностью	308

CONTENTS

MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY	5
Vitsega R. R., Minkevich S. I. Analysis of experience of electronic accounting systems for registration of harvested wood volume in european countries	5
Zorin V. P. Model forests in Belarus – objectives and tasks of their functioning	13
Mashkovsky V. P., Sevruck P. V. Compilation of the cutting plan based on of estimation of the average increase	20
Sevko O. A., Pupenko A. V. Comparative analysis of indicators of the clean and mixed pine plantings in the conditions of a mass shrinkage in a subband of the broad-leaved and pine woods of Belarus	25
Sevruck P. V. Dynamics of the cost of average increase of timber at change of the price index for timber	31
FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE	37
Baginsky V. F., Lapitskaya O. V. Stock of deposited carbon as an organizational element environmental forest use	37
Klimchik G. Ya. Dynamics of the fire in the forest of various funds of the Republic of Belarus.....	44
Levkovskaya M. V., Sarnatsky V. V. Influence of logging equipment on the water-physical properties of soil of moss-covered pine forests as a result of thinnings	50
Luferov A. O., Labokha K. V. Assistance to natural regeneration as the basic method of reforestation in conditions of dieback of pine forests	56
Potapenko A. M., Usenya V. V. Forest renewal potential of oak groves of Belarusian Polesia	63
Sarnatsky V. V. Silvicultural-economic aspects of forest growing.....	69
FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING.....	78
Bespalyy A. A., Sokolovskiy I. V. Forest soil groups of floodplain oak forests Belarusian Polesie .	78
Granik A. M., Kruk N. K. Growth of forest crops of scots pine, depending on the time of planting and the type of planting material.....	85
Nosnikov V. V., Sokolovskiy I. V., Domasevich A. A., Yurenya A. V., Granik A. M., Selishcheva O. A., Romanchuk A. V. Use of the method of condottometry for estimation of the quality of substrates based on sphagnum peat	91
Reshetnikov V. F., Storozhishina K. M. Influence of the norway mample on growth of the english oak in mixed plantations of artificial and natural origin	98
Romanchuk A. V., Yurenya A. V. Creation of forest crops by seedlings grown with the use of complex fertilizers of prolonged action	103
Selishcheva O. A., Larinina Yu. A., Khvas'ko A. V., Nosnikov V. V. Properties linden different phenological forms of the tree	109
Shtukin S. S. Forest-building of fishing elements	116
FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING	121
Burhanskaya T. M. Main activities of the differentiated system care for the root system of coniferous and deciduous trees at nursery gardens and dendroparks of the forestries of Belarus.....	121
FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE	128
Vonselev M. U., Podoshvelev D. A. Rewilding belorusian natural landscapes: reintroduction large herbivores.....	128
Gordey D. V., Morozov O. V., Tereshkina N. V. The practice of rejuvenating pruning of low-bush blueberru (<i>Vaccinium angustifolium</i> Ait.) in the Belarusian Poozerye	133
Kozorez A. I. Roe deer in Belarus: the present state and prospects of use	143
Marchuk V. A. Some aspects of growth of belarusian attractiveness in foreign tourists.....	150

Yushkevich N. T., Motsny V. V. Forest-hunting of Negoreloe forestry experimental station: conditions, problems, perspectives	156
---	-----

TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS..... 160

Golyakevich S. A. Results of strength study and improvement of construction technological semi-frame of forwarder "AMKODOR"	160
Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I., Tsvirko M. V. Strengthening of road soils with bitumen emulsion.....	168
Zimelis A., Ariko S. Ye., Savel'yev A. Investigation of the influence of various factors on the transverse sustainability of the stump processor	174
Korobkin V. A., Mokhov S. P., Kononovich D. A., Ariko S. Ye. Results of experimental studies machine for collection of forest residues	182
Lyshchik P. A., Naumenko A. I. Definition of the basic physical and mechanical properties of geosynthetic materials.....	190

WOODWORKING INDUSTRY 197

Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. Haiduk S. S. Decoration elements of furniture and wood-construction products by stamping wood texture and imitation thread	197
Vasilevich V. G., Mazanik N. V. Belarusian and european methods for quality analysis of exterior wood coatings	204
Bozhelko I. K. Physical and mechanical properties of combined wooden sleepers	211
Veretnikov I. I. The application non-destructive testing method of the influence of thermal effects on the strength characteristics of plywood products	218
Fedosenko I. G., Chesnovskiy E. V. Methodology of operational analysis of wooden construction condition	224

ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX 230

Sobol' V. R., Belskiy S. E., Blokhin A. V., Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srour. The influence of impurities in metal alloys and frequency of the compelled fluctuations on the evolution of fatigue damage	230
Piir A. E., Kozak O. A., Kuntyshev V. B., Sukhotskiy A. B. Thermal calculation of lamellar recuperators for ventilation systems.....	236
Kuntyshev V. B., Sukhotskiy A. B., Danil'chik E. S. Comparative analysis of the methods of calculation air cooler heat exchanger on generalized and specific similarity equations of thermal- and aerodynamic research.....	244
Azovskaya N. O., Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A. Research of the degree of radiactive pollution of food forest products and its contribution to the load population load	251
Kasperov G. I., Levkevich V. E., Mil'man V. A., Bokut' L. V. Damages of supporting hydro-technic constructions on artificial reservoirs of Belarus as the risk factor of hydrodynamic failures	259
Anikeenko A. F., Mashoripova T. A. Advantages and disadvantages of the modern tool for drawing of laminated chipboard	266
Grishkevich A. A., Garanin V. N., Bolochko D. L. The modes of operation of the reflex milling tool with the mobile holder of the knife.....	270
Grishkevich A. A., Morozova V. I., Shved V. T. Results of researches of influence of technological the pine wood grinding modes on productivity of the tool and the way of increase in the period of his firmness	276
Grinevich S. A., Lukash V. T. Geometric modeling of flooding woodworking tools	284
Rapovets V. V., Klepatskiy I. K., Medvedev S. V., Ivanets G. G. Method of calculation of power in the ls-dyna software through the instant values of forces and cutting speeds at the milling of wood.....	290
Garanin V. N., Grishkevich A. A., Anikeenko A. F., Bolochko D. L. The application technology of the milling tool with straight knives for the manufacture of curved surfaces	296
Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Alifirovets G. V. Development of the adaptive mill-ing tool for studying the process of cylindrical milling upon receipt of process chips	303
Kim Yu. A., Bobrovich V. A., Voytekhovskiy B. V., Isachenkov V. S. Impact of air pressure size in tire wheels on the geometric parameters of the spot of contact with interaction with support surface	308

Редакторы: *Е. И. Гоман, Ю. Д. Нежикова*
Компьютерная верстка *О. Ю. Шантарович*
Корректоры: *Е. И. Гоман, Ю. Д. Нежикова*

Подписано в печать 13.07.2018. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 37,0. Уч.-изд. л. 40,2.
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.