

ISSN 2519-402X



# ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал



Серия 1

**ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ  
И ПЕРЕРАБОТКА  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ**

**№ 2 (222) 2019 год**

**Рубрики номера:**

Управление лесами, лесоустройство  
и информационные системы в лесном хозяйстве

Лесная экология и лесоводство

Лесовосстановление и лесовозведение

Лесозащита и садово-парковое строительство

Туризм и лесохотничье хозяйство

Лесопромышленный комплекс.  
Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность

Общеинженерные вопросы  
лесопромышленного комплекса

**БГТУ**

Минск 2019

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 (222) 2019 год**

*Выходит два раза в год*

Минск 2019

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 (222) 2019**

*Published biannually*

Minsk 2019

**Учредитель** – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

**Главный редактор журнала** – Войтов Игорь Витальевич, доктор технических наук, профессор, 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, Финляндская Республика;  
Савич 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»*

**Publisher** – educational institution “Belarusian State Technological University”

**Editor-in-chief** – Voitau Ihar Vital’evich, DSc (Engineering), 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\*61

**В. П. Зорин, П. В. Севрук**

Белорусский государственный технологический университет

## **РОЛЬ МОДЕЛЬНЫХ ЛЕСОВ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЛЕСНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ PEFC**

Рассмотрены направления и методы контроля биологического состояния лесов, а также формирования древостоев будущего, которые обеспечат не только повышение продуктивности физических показателей древостоя, но и экологических возможностей лесных биогеоценозов противостоять климатическим изменениям и проблемам ухудшения качества окружающей среды, вызванного повышением уровня антропогенно-техногенного воздействия. Особое внимание уделяется роли и значению качественного обследования почвенного горизонта в лесах и анализу его динамики на предмет окисления и содержания физической глины, а также содержанию различных загрязнений в воздухе и их влиянию на приросты древостоев.

Цель работы заключается в необходимости решения стратегической задачи лесоводов, связанной с повышением физической продуктивности лесов и их «здоровьем». Разработанный «Генеральный план использования части территории государства, предназначенной для выращивания лесов», должен быть основан на почвенно-технологических методах проектирования выращивания древостоев будущего. Создается сеть «Модельные леса» Беларуси, на территории которых планируется проводить наблюдения за состоянием «здоровья» лесов и анализировать его на основании качества почвы, воздушной среды и динамики сопоставимого прироста различных древесных видов. По нашему мнению, стратегические функции лесов, которые контролируются существующей системой сертификации PEFC в области расширения площади лесов, увеличения производительных функций, баланса прироста, ежегодной рубки и т. д., не отражают истинной картины состояния лесных биогеоценозов, характеризующих состояние «здоровья» лесов, основанного на анализе химизма почвы и качества воздушной среды. Необходимо определить порядок наблюдения за состоянием древостоев и последовательность оценки прогноза состояния лесов для принятия своевременных мер по сохранению экологических функций лесных биогеоценозов.

Пришло время, когда уровень устойчивого управления лесами необходимо оценивать не только по соблюдению действующих международных требований сертификации PEFC, в большей степени отражающих физическое состояние, но и по состоянию устойчивости экосистемы (биогеоценоза) к воздействию антропогенной нагрузки, т. е. «здоровью» лесов.

**Ключевые слова:** лес, древостой, сеть «Модельные леса», сертификация PEFC, генеральный план, «здоровье» лесов, почва, почвенно-типологические группы (ПТГ), стратегия, фитомасса, антропогенная нагрузка, продуктивность, физическая глина, экология, устойчивость.

**V. P. Zorin, P. V. Sevruck**

Belarusian State Technological University

## **THE ROLE OF MODEL FORESTS IN IMPROVING FOREST CERTIFICATION PEFC**

The directions and control methods of a biological condition of the woods and also formations of forest stands of the future which will provide not only increase in efficiency of physical indicators of a forest stand, but also ecological opportunities of forest biogeocenoses to resist to climatic changes and problems of deterioration of the environment caused by increase in level of anthropogenic and technogenic influence are considered. Special attention is paid to a role and value of high-quality inspection of the soil horizon in forests and the analysis of its dynamics regarding oxidation and the content of physical clay and also the content of various pollution in air and their influence on gains of forest stands.

The purpose of work consists in need of the solution of a strategic task of forestry specialists of the physical efficiency of the woods connected with increase and their "health". On the basis of development: "The Master plan of use of a part of the territory of the state intended for cultivation of the woods". The Master plan has to be based on soil and technological design methods of cultivation of forest stands of the future. The network of "The model woods" of Belarus in the territory of which also the analysis behind the state of health on the basis of quality of the soil, the air environment and dynamics of comparable gain of different wood types is planned to make observations is created. According to us, strategic functions of the woods which are controlled by the existing system of certification of PEFC in the area: expansions of the area of the woods, increases in productive functions, the balance of gain, the annual cabin, etc. does not reflect a true picture of a condition of forest biogeocenoses, characterizing a condition of "health" of the woods based on the analysis of chemism of the soil and quality of the air environment. It is necessary to define an order of observation of a condition of forest stands and the sequence of assessment of the forecast of a condition of the woods for acceptance of timely measures for preservation of ecological functions of forest biogeocenoz.

It is time when the level of steady management of the woods needs to be estimated not only on observance of the existing international requirements of certification of PEFC, more, reflecting a physical state, but also on a condition of stability of an ecosystem (biogeocenosis) to resist influence of anthropogenic loading, i.e. "health of the woods".

**Key words:** wood, forest stand, "Model woods", certification PEFC, Master plan, "health", soil, PTG, strategy, phytoweight, anthropogenic loading, efficiency, physical clay, ecology, stability.

**Введение.** К 1980 г. ухудшение состояния лесов приняло устойчивый характер и было отмечено во всех странах европейского сообщества. Отсутствие классификаторов, определяющих факторы повреждений лесов и преобладание воздушных загрязнений, привело к различным гипотезам трансграничных загрязнений – как сопутствующего фактора или основного, имеющего господствующее значение [1].

Оптимальное управление в сфере окружающей среды может быть достигнуто только при наличии достаточной информации о динамике и характере изменений как окружающей среды, так и отдельных компонентов. Для обеспечения государственного управления на всех уровнях и определения стратегии природопользования необходимо создание системы мониторинга различных биogeоценозов [2].

С момента принятия Закона Республики Беларусь от 26.11.1992 «Об охране окружающей среды» мониторинг лесов является составной частью биологического мониторинга окружающей среды Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС).

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21.06.2001 № 915 «Об утверждении порядка осуществления мониторинга лесов» мониторинг лесов включен в состав НСМОС Республики Беларусь в качестве отдельного вида мониторинга окружающей среды.

Уровень антропогенно-техногенного воздействия на лесные экосистемы возрастает. Это приводит к негативным изменениям в лесных биogeоценозах, снижению устойчивости и продуктивности лесных экосистем, обеднению видового биоразнообразия и разрушению генофонда. Такая

ситуация вынуждает человечество создавать системы контроля, дающие полную информацию об уровне устойчивости лесов как экологических фиточистот и их реакции на антропогенные нагрузки и качество окружающей среды, т. е. чем древесина «питаются» и чем дышат.

С момента создания первого перечня обще-европейских показателей устойчивого управления лесами в 1998 г. и их усовершенствования в 2003 г. опыт доказывает, что критерии и показатели являются очень важным инструментом для Европейской лесной политики. Исходя из климатических изменений последних десятилетий, вызванных повышением концентрации парниковых газов в атмосфере планеты, а также усовершенствования знаний и системы сбора данных о состоянии окружающей среды необходимо обновление показателей. Это подтверждает и Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 г. Первичными в этом направлении стали Критерии и индикаторы устойчивого управления лесами.

Стратегическим планом развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 г., утвержденным заместителем Премьер-министра 23.12.2014 № 06/201-271, предусмотрено:

- совершенствование национальных критериев и индикаторов устойчивого лесопользования;

- формирование лесов повышенной производительности, экологической устойчивости и природоохранной ценности;

- сокращение площади низкопродуктивных земель лесного фонда, повышение лесистости территории государства;

– обеспечение стабильного функционирования экосистем на фоне изменения климата, сохранение биологического и ландшафтного биоразнообразия лесов, повышение эколого-экономического потенциала лесного сектора экономики, усиление роли лесов в сохранении биосферы;

– развитие системы реализации научно обоснованных лесоводственных мероприятий и природоохранных технологий, направленных на сохранение экологических средорегулирующих функций лесов;

– повышение осведомленности общественности о процессах совершенствования национальной лесной политики и системы лесных отношений, выработка и реализация управленческих решений с учетом перспективных задач социально-экономического развития страны, ресурсного средообразующего и природоохранного потенциала лесов [3, 4].

С целью реализации поставленных правительством задач по увеличению продуктивности древостоев и их экологической устойчивости на фоне изменения климата, а также роли лесов в сохранении биосферы необходимо наличие научно-практических подходов для обеспечения системно-периодического анализа качества состояния лесных биогеоценозов, жизненный уровень которых обеспечит устойчивое регулирование качества состояния воздушной среды.

**Основная часть.** Анализ результатов международной программы «Человек и биосфера» показал, что хотя суша и составляет 29,7% от общей площади земного шара, именно ей принадлежит 64% ежегодно создаваемой фитомассы, в том числе 60% в лесах [5, 6].

Из общего запаса органического вещества на планете около 90% сконцентрировано в лесах. Наземные экосистемы ежегодно за счет фотосинтеза поглощают из атмосферы около 100 млрд т углерода и выделяют 50 млрд т кислорода.

Ежегодно площадь лесов на планете уменьшается на 0,5%, и большая часть этой цифры составляет хозяйственная деятельность человека. Следовательно, системное регулирование не только использования лесов, но и их биологического состояния может влиять на массу фотосинтезирующей поверхности земли путем увеличения территории продуцирующих лесов и, тем самым, снижать темпы их деградации.

По нашему мнению, стратегические функции лесов, которые контролируются существующей системой сертификации PEFC в области расширения площади лесов, увеличения производительных функций, баланса прироста, ежегодной рубки и т. д., не отражают истинной картины состояния продуктивности лесных биогеоценозов,

характеризующих состояние «здоровья» лесов, основанного на анализе химизма почвы и качества воздушной среды. Необходимо определить порядок наблюдения за состоянием древостоев и последовательность оценки прогноза состояния лесов для принятия своевременных мер по сохранению экологических функций лесных биогеоценозов.

С целью предупреждения негативных явлений необходим системный анализ биологического состояния древостоев. В Беларуси создается сеть «Модельные леса», на территории которых планируется проводить наблюдения за состоянием «здоровья» древостоев и анализировать их на основании качества почвы (ее химического состава), воздушной среды и сопоставимого прироста. «Модельные леса» рассматриваются как практическая платформа для анализа данных о состоянии лесов [7, 8].

На основании таксационных и биологических характеристик они привлекательны для Беларуси как основа для интенсификации и оживления диалога всех организаций, заинтересованных в устойчивом развитии экологической среды, а также как возможность осуществления международного сотрудничества, обмена передовым опытом, являются инструктивной базой создания и функционирования «Модельных лесов» с учетом национальной специфики.

На территории «Модельных лесов», ограниченных в натуре естественными ориентирами (реки, дороги, поля, просеки), можно организовать детальный анализ соблюдения требований различных критериев и показателей, характеризующих состояние лесных фитоценозов и окружающей среды, в том числе:

**Критерий № 1, показатель 1.4.** Лесной углерод. Запасы углерода и их изменение в лесной биомассе, лесных почвах и полученной древесине (ежегодный прирост в метрах кубических);

**Критерий № 2, показатель 2.1.** Отложение и концентрирование загрязняющих атмосферу веществ в лесах и иных лесных местностях;

**Критерий № 2, показатель 2.2.** Обслуживание лесных экосистем, их благополучие и жизнеспособность. Химические свойства почв (hP), органический углерод, насыщенность основаниями почв в лесах и других лесистых землях, связанных с кислотностью почв и эвтрофикацией, в соответствии с основными типами почв.

**Критерий № 2, показатель 2.3.** Дефолиация одного или нескольких видов деревьев;

**Критерий № 2, показатель 2.4.** Поврежденные лесов;

**Критерий № 2, показатель 2.5.** Распределение площади «Модельных лесов» по защитным функциям (на основе таксационного описания) в управлении лесным хозяйством (почва и вода).



Предотвращение эрозии почвы, сохранение водных ресурсов, болот;

– **Критерий № 6, показатель 6.10.** Создание экологической тропы (с таксационной информацией о каждом выделе), в том числе характеристика почвы: вид, богатство, кислотность, влажность [9].

В настоящее время существуют различные методики по определению депонирования углерода лесным фондом, т. е. содержания углерода в надземной и подземной фитомассе лесного фонда (тС).

Увеличение запасов насаждений и, соответственно, фитомассы лесной экосистемы республики ведет к возрастанию потока углерода от атмосферы в лес и его поглощению лесом. С 1956 г. по 01.01.2017 увеличение углерода в лесном фонде составило 3492,7 млн т. При увеличении площади лесного фонда в 1,3 раза содержание углерода увеличилось в 2,52 раза. Прирост углерода почти в два раза превышает прирост площади лесного фонда (Круглый стол «Внедрение принципов “Зеленой экономики” в лесное хозяйство Беларуси»).

Продуктивность лесов может определяться однородностью почв в различных типах леса и пределах ПТГ (почвенно-типологических групп). Выделенные ПТГ, включающие различные ассоциации типов леса, четко выражены и характерны для исследуемых типов леса и могут рассматриваться как равноценные по потенциальному плодородию.

Впоследствии под воздействием на почву лесной растительности происходит подзолистый процесс почвообразования. Образующаяся при разложении лесной подстилки, креоновая кислота растворяет вещества верхнего горизонта почвы, и нисходящим током атмосферных вод они выносятся в нижние горизонты почвы.

В таблице показаны колебания процента физической глины по ПТГ в верхнем горизонте почвы (по крупности).

**Особенности лесоустройства на почвенно-типологической основе по В. Е. Ермакову**

Тип леса	Размер фракции, мм	
	0,05–0,01	Миним. 0,01
Мшистый	11,56–13,01	6,39–7,14
Черничный	7,6–13,51	11,78–13,3
Кисличный	22,3–26,4	26,8–29,1

Из верхних горизонтов почвы уносятся прежде всего карбонаты кальция и магния, в форме растворимых солей вымываются марганец и железо, при разрушении сложных силикатов – аммоний. Эти вещества перехватываются

корневой системой древостоев и расходуются на образование древесины. Таким образом, роль верхних горизонтов почвы в формировании запаса древостоев весьма значительна. Поэтому при сравнительном изучении продуктивности лесов в первую очередь необходимо дать оценку плодородию почвы. В лесоустроительной практике при установлении типа леса почва определяется лишь по растениям-индикаторам, а ведь она является важнейшим фактором местообитания. Это привело к тому, что до сих пор нет конкретных количественных показателей, которые выражали бы зависимость продуктивности лесов от почвенно-грунтовых условий и позволили оценить потенциальное плодородие почвы.

При определении потенциала продуктивности ПТГ можно использовать строение почвенного профиля и гранулометрический состав почвенно-грунтовых условий в пределах определенных серий типов леса, а также закономерности в характере развития средних высот древостоев по ПТГ. Необходимо отметить конкретную характеристику групп, сформированных на основе брусничной, черничной, мшистой и кисличной серий типов леса.

По общепониманию шкале М. Орлова сосняки мшистого и черничного типов леса начинают развитие по показателям I класса бонитета, а с возрастом их энергия роста постепенно замедляется, и к спелости они оцениваются уже по II классу бонитета. В кисличной серии типов леса сосняки от первого класса возраста до пятого относятся к I<sup>a</sup> классу бонитета.

Если рассматривать динамику развития исследуемых сосняков по теории о трех типах развития насаждений, то эти леса, образующие древесные виды, следует отнести к третьему типу развития: рост, ускоренный в молодости и замедленный к спелости.

Еловые древостои, имеющие замедленный темп развития в молодом возрасте и ускоренный к возрасту спелости, относятся ко второму типу развития. В молодом возрасте ельники оцениваются на два класса бонитета ниже, чем в возрасте спелости.

Таким образом, можно сделать вывод, что еловые и сосновые древостои в одних и тех же почвенных условиях до возраста спелости оцениваются разными классами бонитета, что, естественно, сказывается на характеристике их продуктивности

**Заключение.** При составлении Генерального плана использования территории государства, предназначенной для выращивания лесов, должна быть обоснована правомерность продуктивности будущих древостоев, что позволит

обеспечить их устойчивость к антропогенному воздействию, сохранение биологического и генетического разнообразия лесов, усиление их роли в сохранении биосферы, повышение устойчивости насаждений на фоне изменения климата, укрепление потенциала экономической привлекательности лесного сектора для экономики страны.

Чтобы оценить уровень устойчивого состояния лесов, как экологических систем, необходимо убедиться, как реагируют лесные биогеоценозы на антропогенные нагрузки и состояние воздушной среды, т. е. чем растения (древостои) питаются (изучить химизм и богатство почвы) и чем дышат (качество атмосферного воздуха).

Исходя из всеобщего понимания оценки количества поглощения углерода, массы фотосинтезирующей поверхности и анализа объема прироста древостоев можно сделать вывод, что леса, произрастающие в условиях регулируемого антропогенного воздействия, при положительных климатических факторах и стабильном состоянии качества воздушной среды, будут иметь больший прирост по запасу и вносить больший вклад в процесс фотосинтеза.

В то же время леса, испытывающие стагнацию от антропогенного воздействия и загрязнения воздушной среды, будут обладать уменьшенным приростом и интенсивностью фотосинтеза. В таких лесах увеличивается риск заболевания древостоев и их отмирания – в результате массовой деятельности вредных насекомых, которые нападают на ослабленные деревья.

Пришло время, когда уровень устойчивого управления лесами необходимо оценивать не только по соблюдению действующих международных требований сертификации PEFC, в большей степени отражающих физическое состояние, но и по состоянию устойчивости экоси-

стемы (биогеоценоза) к воздействию антропогенной нагрузки, т. е. «здоровью» лесов.

По нашему мнению, стратегические цели, которые должны быть обеспечены существующей сертификацией PEFC в области увеличения производительных функций лесов, баланса прироста ежегодной рубки, необходимо дополнить показателями, характеризующими состояние «здоровья» лесов, основанными на анализе химизма почвы и качества воздушной среды. Это потребует создать систему и выработать порядок оценки долгосрочного прогноза состояния лесов для принятия своевременных мер по сохранению экологических функций лесов и повышению их продуктивности. Это будет способствовать созданию нового механизма международного научно-технического сотрудничества по выработке расширенного общего понимания устойчивого управления лесами с учетом результатов их экологического (биологического) состояния [10].

В решении данных проблем самое важное – исследовать, знать и контролировать пределы допустимого вмешательства отрицательной деятельности человека в природные процессы, при которых лесной биогеоценоз не сможет выполнять геохимические и экологические функции. Основой реализации такого стратегического направления должен стать Генеральный план использования территории государства, предназначенной для выращивания лесов.

Международный стандарт PEFC ST1003:2018, критерий 5, п. 6, 7, 8 устойчивого лесопользования, устанавливает, что лесопользование должно вносить вклад в научную деятельность и сбор данных, необходимых для устойчивого лесопользования и поддержания соответствующих научных исследований, проводимых другими, в том числе общественными организациями, в данном случае Партнерствами «Модельных лесов» [11].

### Литература

1. 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.
2. Маевский П. А. Глобальные проблемы ведения устойчивого управления лесами (УУЛ) на примере модельного леса «Прилузь» Республики Коми, Россия // Леса России: независимая сертификация и устойчивое управление. М., 2000. С. 75–85.
3. Государственная программа «Белорусский лес» на 2016–2020 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 18.03.2016, № 215. URL: [http://nasb.gov.by/rus/activities/research/2016/les\\_2016-2020.pdf](http://nasb.gov.by/rus/activities/research/2016/les_2016-2020.pdf) (дата обращения: 15.03.2018).
4. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период 2015–2030 годы: утв. заместителем Премьер-министра Респ. Беларусь 23.12.2014, № 06/201-271. Минск: Совет Министров Респ. Беларусь, 2015. 15 с.
5. Зорин В. П. Стратегические цели и критерии устойчивого управления лесами Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. 2007. Вып. XV. С. 12–16.
6. Кузьминов И. Модельные леса: история развития и тематика проектов // Устойчивое лесопользование. 2009. № 3. С. 45–49.

7. Зорин В. П. Политика и стратегия устойчивого управления лесами Беларуси // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 16–19.
8. Валуева Э. История и современное состояние проекта «Модельный лес «Ковдозерский» // Устойчивое лесопользование. 2008. № 2. С. 39–41.
9. Зорин В. П. Воспроизводство ресурсов и критерии устойчивого управления и развития лесов. Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. 2008. Вып. XVI. С. 16–20.
10. Зорин В. П. Международный опыт и создание модельных лесов Беларуси // Труды БГТУ. 2011. № 1: Лесное хозяйство. С. 14–17.
11. Руководство по развитию модельных лесов // Секретариат международной сети модельных лесов. Природные ресурсы Канады. Оттава: Лесная служба Канады, 2008. 25 с.

### References

1. Ravino A. V. Derevyago I. P. Forest resources of Belarus in the system of sustainable nature management. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesa Belarusi i ikh ratsional'noye ispol'zovaniye"* [Materials of the Interregional Scientific and Technical Conference "Forest of Belarus and their rational use"]. Minsk, 2000, pp. 53–55 (In Russian).
2. 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).
3. *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](http://nasb.gov.by/rus/activities/research/2016/les_2016-2020.pdf) (accessed 15.03.2018).
4. *Strategicheskyy 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 Respubliki Belarus' Publ., 2015. 15 p.
5. Zorin V. P. Strategic goals and criteria for sustainable forest management in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2007, issue XV, pp. 12–16 (In Russian).
6. 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).
7. 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).
8. 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).
9. Zorin V. P. Reproduction of resources and criteria for sustainable management and development of forest. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 16–20 (In Russian).
10. Zorin V. P. International experience and creation of model forest of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no 1: Forestry, pp. 14–17 (In Russian).
11. Guidelines for the development of model forests. *Sekretariat mezhdunaridnoy seti model'nykh lesov. Prirodnyye resursy Kanady* [The International network of model forests. Nature resources of Canada]. Ottawa, Lesnaya sluzhba Kanady Publ., 2008. 25 p.

### 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](mailto:zorin@belstu.by)

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

### Information about the author

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

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

Поступила 18.03.2019

УДК 630\*2;625.7/.8

**А. Ю. Комар**

Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт

**ПРАСТОРАВА-ЧАСАВЫЯ ЗМЭНЫ ЛЯСНОГА ФОНДУ  
300-МЯТРОВАЙ ЗОНЫ ВАКОЛ МКАД**

Праблема ўздзеяння аўтамагістраляў на прыродную расліннасць набывае ў апошнія гады ўсё большую актуальнасць у сувязі з бурным ростам інтэнсіўнасці руху аўтатранспарту і развіццём інфраструктуры дарог.

На аснове звестак лесаўпарадкавання 1999, 2008, 2016 і 2017 гг. прааналізаваны асаблівасці прасторава-часавых зменаў ляснога фонду 300-мятравой зоны вакол МКАД. Для правядзення аналізу часавых зменаў прааналізавана дынаміка зменаў некаторых сярэдніх таксацыйных паказчыкаў, якія разлічваліся як сярэднеўзважаныя праз плошчу. Прасторавыя змены ацэньваліся двума спосабамі: метадам стварэння матрыцы неадпаведнасцяў у праграме ГІС SAGA і прапанаваным намі метадам стварэння рэгулярнай сеткі ў праграме QGIS з размяшчэннем уліковых кропак у вяршынях квадратаў 50×50 м.

Праведзены аналіз паказаў, што ёсць тэндэнцыя павелічэння долі арляковай серыі тыпаў лесу. З павелічэннем узросту прасочваецца зніжэнне сярэдняга класа банітэту і стабільнасць сярэдняй паўнаты насаджэнняў. Выявіліся недакладнасці ў вызначэнні ўзросту дрэвастояў у 1999 г.

Павысіўся ўзровень дакладнасці таксацыі насаджэнняў: так, калі ў 1999 г. агульная колькасць выдзелаў складала 398 шт., то на 2017 г. – 568 шт.

**Ключавыя словы:** МКАД, прасторава-часавыя змены, клас банітэту, паўната, клас узросту.

**A. Yu. Komar**

Belarusian State Technological University

**SPACE-TIME CHANGES IN THE FOREST FUND  
OF THE 300-METER ZONE AROUND THE MINSK RING ROAD**

The problem of the impact of motorways on the natural vegetation gains in recent years more and more important due to the rapid increase in the intensity vehicular traffic and the development of the road infrastructure.

On the basis of forest inventory data for 1999, 2008, 2016 and 2017. analyzed characteristics space-time changes of the forest fund of the 300-meter zone around Minsk ring road. To analyze time changes was analyzed the dynamics of changes of some average stand characteristics, which are calculated as a weighted average across the square. Space changes were assessed in two ways: method of creating of the confusion matrix by using SAGA GIS program; and our method of creating a regular network with location points at the vertices of the squares of 50 × 50 m in the QGIS program.

The analysis showed that there is a trend of increasing the share eagle-grown series of forest types. There is a tendency to increase the mean density and bonitet class of stands. Inaccuracies in determining of the mean age of the stands for the period from 1999 to 2008 was found.

The level of accuracy of inventory spaces has increased: so, if the total amount of forest subcompartment was 398 units in 1999, and in 2017 – 568 pcs.

**Key words:** Minsk ring road, space-time changes, bonitet, density, age class.

**Уводзіны.** Істотна ўплывае на расліннасць змена прыроднага асяроддзя, звязаная з будаўніцтвам або рэканструкцыяй аўтадарог. Будаўніцтва дарог нярэдка суправаджаецца знішчэннем натуральнай расліннасці прыдарожных тэрыторый, часам асабліва каштоўных фітагургаванняў або папуляцый падахоўных відаў раслін. Рэзкае пагаршэнне стану драўняных (лясных і засцерагальных) насаджэнняў уздоўж аўтамабільных дарог абумоўлена тэхнагенным забруджваннем навакольнага асяроддзя ў прыдарожных палосах супрацьгалалёднымі рэагентамі [1].

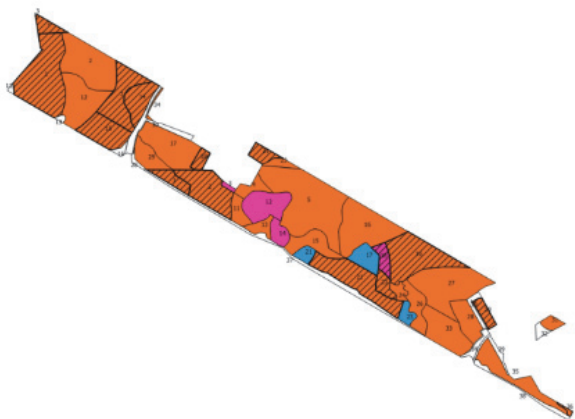
М9 – Мінская кальцавая аўтамабільная дарога (далей МКАД) – аўтамабільная дарога першай

катэгорыі інтэнсіўнасці руху. Яна была значна рэканструявана ў 2002 г. у сувязі з узрастаннем аўтамабільнай нагрузкі. На бягучы момант гэта найбольш нагружаная аўтадарога Беларусі [1].

Аб'ект даследавання – ласы ў 300-мятравой зоне вакол Мінскай кальцавой аўтамабільнай дарогі – па 300 м з абодвух бакоў ад дарожнага палатна. З літаратурных крыніцаў вядома, што ўплыў дарогі распаўсюджваецца менавіта на такую зону [1]. Лясны фонд аб'екта даследаванняў зараз належыць да Бараўлянскага і Ратамскага лясніцтваў Бараўлянскага спецыяльнага, а таксама да Гарадскога і Ждановіцкага лясніцтваў Мінскага леспаркгаса.

**Асноўная частка.** Для атрымання інтэграванай атрыбутыўнай і картаграфічнай базы звестак 300-мятровай зоны з дапамогай ГІС QGIS выканалі аблічбоўку растравых картаў – планаў лясоў маштабу 1:25000 тых кварталаў, якія мяжуюць з МКАД. Атрыбутыўная лесаўпарадкавальная база атрымана шляхам злучэння звестак на аснове агульнага поля табліцы атрыбутаў слоя з табліцай Excel, якая змяшчала таксацыйную характарыстыку выдзела. Такім чынам, межам аднаго контуру адпавядае адзін запіс у атрыбутыўнай базе звестак.

З дапамогай праграмы QGIS вектарны файл абрэзалі на шырыню 300 м ад краю дарожнага палатна (рыс. 1).



Рыс. 1. Фрагмент 300-мятровай зоны на тэрыторыі Бараўлянскага лясніцтва

Плошчы новаўтвораных выдзелаў вылічвалі пры дапамозе калькулятара палёў. Атрыманую базу атрыбутыўных звестак экспартавалі ў табліцу Excel.

Методыка даследаванняў:

1) вывучэнне часавых зменаў метадам аналізу дынамікі некаторых сярэдніх таксацыйных паказчыкаў;

2) аналіз прасторавых зменаў метадам сеткі кропак і метадам матрыцы неадпаведнасцяў (confusion matrix).

Для часавых зменаў атрымалі сярэднія таксацыйныя паказчыкі (сярэдні ўзрост, сярэдні

клас банітэту і сярэдняя паўната) як ўзважаныя праз плошчу на падставе павыдзельнай базы звестак ГІС [2].

Далей параўноўвалі характарыстыкі ляснага фонду па звестках лесаўпарадкавання 1999, 2016 і 2017 гг. (табл. 1).

Агульная плошча ляснага фонду 300-мятровай зоны ўздоўж МКАД мае тэндэнцыю да змяншэння. Калі ў 1999 г. плошча складала 529,6 га, 2008 – 531,9, то ў 2017 г. – 507,1 га, гэта на 4,2% менш, чым ў 1999 г., што можа быць звязана з рэарганізацыяй ляснага фонду.

Відавочна неаднастайнасць плошчы і занятых лесам земляў (то расце, то падае). Пры гэтым назіраецца стабільнасць адноснай плошчы сасновых лясоў і арляковай серыі тыпаў лесу, перш за ўсё сасняку арляковага.

З табліцы бачна яўная неадпаведнасць звестак лесаўпарадкавання 1999 г. пра сярэдні ўзрост, бо ён павінен быць прыблізна на 9 гадоў меншы за велічыню, зафіксаваную ў 2008 г., якая пацвярджаецца імавернай розніцай на 12 гадоў у наступным перыядзе: 2008–2017 гг. Ненадзейнасць і верагодная памылковасць звестак 1999 г. пра ўзрост пацвярджаецца тым, што фактычна на той самай плошчы было арганізавана толькі 398 выдзелаў у 1999 г. і 568 выдзелаў па стане на 2017 г.

Таму выконвалася павыдзельная карэкцыя звестак 1999 г. з адпаведным пераарэткам класа банітэту і перапраўкай імховага тыпу лесу на арляковы ў выпадку неадпаведнасці класа банітэту 1<sup>а</sup> імховаму тыпу лесу. Адкарэктаваныя звесткі ў табл. 1 паказаны ў дужках. У такім выпадку пацвярджаецца зніжэнне класа банітэту саснякоў высокай прадукцыйнасці з узростам, характэрнае для ўмоў Беларусі [3].

Цікава, што з павелічэннем узросту незафіксавана зніжэнне сярэдняй паўнаты, а нават ёсць некаторае яе ўзрастанне, што таксама можа быць вынікам больш дакладнай таксацыі. Размеркаванне занятых лесам земляў па пародах за вызначаны пррамежак часу характарызуецца значнай перавагай сасны.

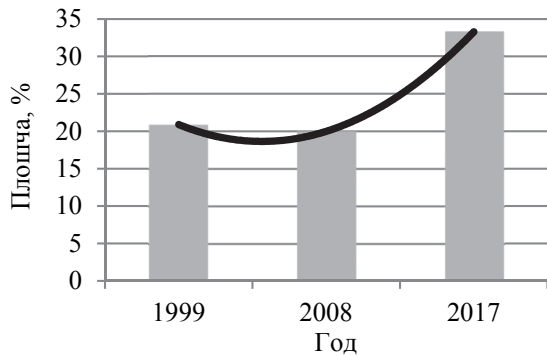
Табліца 1

**Дынаміка зменаў размеркавання занятых лесам земляў па сярэдніх таксацыйных паказчыках**

Паказчык	Год		
	1999	2008	2017
Плошча занятых лесам земляў, га	476,8	496,5	481,1
Плошча занятых лесам земляў пад сасной, %	76,7	76,6	76,8
Плошча занятых лесам земляў пад арляковай серыяй тыпаў лесу, %	57,6 (59,8)	70,9	74,9
Сярэдні ўзрост, гадоў	50 (42)	51	63
Сярэдні клас банітэту	1,2 (1 <sup>а</sup> ,7)	1,1	1,1
Сярэдняя паўната	0,72	0,73	0,74

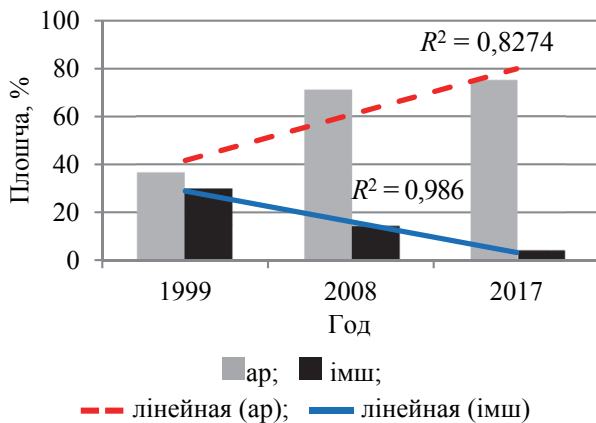
Заўвага. У дужках паказчыкі пасля карэкцыі ўзросту.

Размеркаванне занятых лесам земляў па класах банітэту характарызуецца значнай перавагай высокабанітэтных насаджэнняў на працягу трох тураў лесаўпарадкавання. Звяртае на сябе ўвагу значнае павелічэнне долі дрэвастояў I<sup>a</sup> класа банітэту. На рыс. 2 адлюстраваны працэнтныя суадносіны дынамікі зменаў плошчы насаджэнняў I<sup>a</sup> класа банітэту.



Рыс. 2. Дынаміка зменаў долі дрэвастояў I<sup>a</sup> класа банітэту

Размеркаванне занятых лесам земляў па тыпах лесу характарызуецца значнай перавагай сухадольных лясоў. Назіраецца значнае павелічэнне плошчы насаджэнняў арляковай серыі тыпаў лесу: у 1999 г. – 250,7 га, ці 57,6%, у 2017 г. – 360,4 га, ці 74,9% ад агульнай плошчы занятых лесам земляў (рыс. 3).

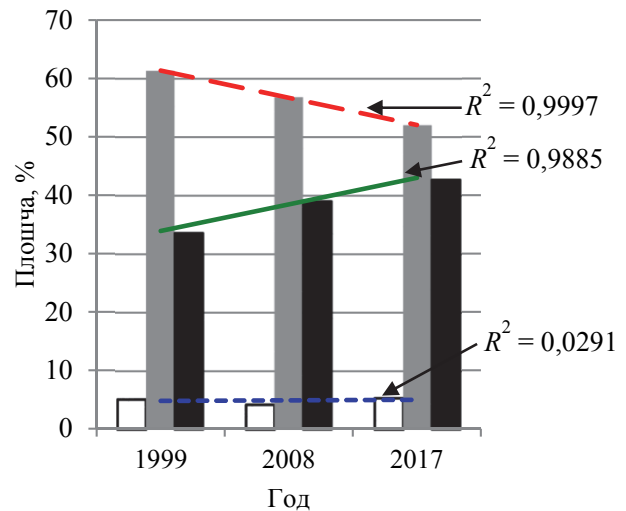


Рыс. 3. Дынаміка зменаў занятых лесам земляў па тыпах лесу (імховым і арляковым)

На працягу трох тураў лесаўпарадкавання нязменна дамінуюць сярэднепаўнотныя насаджэнні з паўнотай 0,6–0,7. Таксама значную частку займаюць высокапаўнотныя насаджэнні з паўнотай 0,8 і больш. На рыс. 4 паказана, што паніжаецца доля сярэднепаўнотных насаджэнняў, і наадварот, павышаецца ўдзел высокапаўнотных насаджэнняў.

Прасторавы аналіз метадам стварэння матрыцы неадпаведнасцяў – асноўны спосаб

аналізу прасторавых зменаў. З выкарыстаннем інструменту Confusion Matrix у ГІС SAGA зроблена параўнанне плошчаў, якія займалі пароды ў 1999 і 2017 гг. На выхадзе атрымана зводная ведамасць кірунку зменаў пародаў і відаў земляў.



Рыс. 4. Дынаміка зменаў плошчы насаджэнняў па паўнотах

Для правядзення прасторавага аналізу метадам рэгулярнай сеткі з размяшчэннем кропак у вяршынях сеткі квадратаў 50×50 м быў выкарыстаны інструмент стварэння рэгулярнай сеткі кропак (regular points). Да кожнай кропкі выканана прасторавае злучэнне атрыбутаў двух слаёў па становішчы аб'екта ў слоі пры дапамозе інструменту Join attributes by location. Выбар метаду кропак зроблены таму, што пасля 1999 г. змянілася тэхналогія вызначэння межаў ляснага фонду (у картах лесаўпарадкавання 1999 г. адсутнічала геапрывязка, што абцяжарвала аналіз слаёў картаграфічнай інфармацыі), а таксама з'явілася магчымасць для выканання розных варыянтаў аналізу: разглядаць толькі падыход да таксацыі або і да вызначэння межаў выдзела. Атрыманая атрыбутыўная табліца экспартавалася ў табліцу Excel, на аснове якой складалася зводная ведамасць кірунку зменаў.

Для гэтага з дапамогай ГІС QGIS стваралі рэгулярную сетку кропак. Да кожнай кропкі падвязвалі інфармацыю з лесаўпарадкавальнай таксацыйнай базы звестак 1999 і 2017 гг.

У табл. 2 дадзены змены размеркавання па фармацыях і відах земляў па ўсёй 300-мятровай зоне.

Табліца 2

## Змены размеркавання па фармацыях і відах земляў метадам сеткі кропак (фрагмент)

Фармацыя	Фармацыя, га/%						Від земляў, га/%						Разам за 1999 г.
	Сасновая	Яловая	Дубовая	Бязозавая	Асінавая	Чорнаальховая	Іншыя трасы	Іншыя землі	Дарога	Балота	Паляна ландшафтная	Не ў ЛФ	
Сасновая	<u>326,4</u> 85,9	<u>6,2</u> 1,6	–	<u>11,5</u> 3,0	<u>1,6</u> 0,4	<u>0,6</u> 0,2	<u>0,6</u> 0,2	<u>0,6</u> 0,2	<u>0,9</u> 0,2	–	<u>0,9</u> 0,2	<u>29,1</u> 7,7	<u>380,1</u> 100
Яловая	<u>14,3</u> 24,0	<u>36,6</u> 61,5	<u>2,5</u> 4,2	<u>0,9</u> 1,6	<u>3,7</u> 6,3	–	–	<u>0,3</u> 0,5	–	–	–	<u>0,6</u> 1,0	<u>59,5</u> 100
Бязозавая	<u>11,8</u> 36,9	–	<u>0,6</u> 1,9	<u>11,5</u> 35,9	<u>2,2</u> 6,8	–	–	<u>0,9</u> 2,9	–	<u>0,3</u> 1,0	<u>0,3</u> 1,0	<u>3,4</u> 10,7	<u>31,9</u> 100
Дубовая	–	<u>2,8</u> 27,3	<u>6,5</u> 63,6	–	–	–	–	–	–	–	–	<u>0,9</u> 9,1	<u>10,2</u> 100
Чорнаальховая	<u>2,2</u> 36,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<u>5,9</u> 100
Разам за 2017 г.	<u>364,9</u> 72,0	<u>46,7</u> 9,2	<u>9,7</u> 1,9	<u>25,4</u> 5,0	<u>9,7</u> 1,9	<u>0,6</u> 0,1	<u>0,6</u> 0,1	<u>1,9</u> 0,4	<u>0,9</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,1	<u>1,6</u> 0,3	<u>35,1</u> 6,9	<u>507,1</u> 100

Табліца 3

## Супярэчнасці вызначэння таксацыйных паказчыкаў і відаў земляў на прыкладзе Бараўлянскага лясніцтва метадам кропак, шт./%

Неадпаведныя змены		Памылкі вектарызацыі і рэарганізацыі ляснога фонду	Гаспадарчыя мерапрыемствы (высечкі і ўзнаўленні)	Трансфармацыя земляў (з аднаго віду земляў у іншы)
парода	узрост			
2/1,3	74/49,0	2/1,3	1/0,7	3/2,0

Радок табл. 2 прадстаўляе плошчы фармацыі, або усёй 300-мятровай зоны на 1999 г., так, як яны захаваліся ў межах контураў ляснога фонду па стане на 2017 г. Напрыклад, з 380,1 га сасны на 2017 г. засталіся 326,4 га, ці 85,9%. 6,2 га былых саснякоў пратаксаваны ў 2017 г. елкай; 11,5 га – бярозай. А 29,1 га апынуліся за межамі ляснога фонду з-за неадпаведнасці межаў 1999 г. межам 2017 г.

Слупок сасновай фармацыі, наадварот, паказвае, з чаго склаліся 364,9 га сасны у 2017 г.: дадаліся 14,3 га з яловай фармацыі, 11,8 га – з бярозавай і г. д.

З радка «Разам» бачна, што за кошт усіх парод утварыліся 0,9 га дарог, 0,6 га іншых трас, што, несумненна, характарызуе антрапагенны ўплыў; 0,3 га балот, а магчыма, і ландшафтныя паляны ёсць вынік удакладнення таксацыі.

Метад матрыцы неадпаведнасцяў даў блізкія вынікі.

У табл. 3 паказаны супярэчнасці вызначэння паказчыкаў на прыкладзе Бараўлянскага лясніцтва, на якое прыпала 151 кропка на перыяд з 1999 да 2017 г., або каля 10% ад іх агульнай

колькасці. Відаць, што найбольш спрэчна вызначаецца ўзрост, – 49% выпадкаў.

Неадпаведнымі зменамі таксацыйных паказчыкаў лічылі тыя, якія перавышаюць дапушчальныя адхіленні іхняга вызначэння паводле лесаўпарадкавальных нарматываў дакладнасці, напрыклад змену пераважнай пароды саставу 8С на 8Е. Змену ўзросту менш за 15 гадоў і больш за 25 гадоў за перыяд 1999–2017 г.

**Заклучэнне.** Ужытыя метады аналізу сярэдніх таксацыйных паказчыкаў і прасторавых зменаў паказваюць, што ў лясным фондзе заканамерна павялічваецца сярэдні ўзрост. У меншай ступені трансфармаваўся пародны састаў. Сярэдні клас банітэту за разгледжаны перыяд зменшыўся, што і характэрна для высокапрадукцыйных дрэвастаяў. Пры гэтым сярэдняя паўната не зменшылася, а нават мела тэндэнцыю да павелічэння. На вынікі ацэнкі зрабілі моцны ўплыў недакладнасць метадаў таксацыі падчас лесаўпарадкавання і змены межаў ляснога фонду. Несумненна антрапагенны ўплыў выяўлены ў павелічэнні долі дарог, высечак і іншых нелясных земляў.

### Літаратура

1. Судник А. В. Отчет о научно-исследовательской работе по заданию 1.5.2: Разработать комплекс мер по минимизации воздействия строительства и содержания автомобильных дорог на растительность придорожных территорий. ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда». Договор № 60-2013/2 (65) от 05.06.2013. № ГР 20131604. Минск, 2015. 388 с.
2. Ермакоў В. Я., Атрошчанка А. А., Дзямід М. П. Лесаўпарадкаванне. Мінск: БДТУ, 2002. 500 с.
3. Демид Н. П. Обоснование возраста главной рубки сосновых древостоев Беларуси в связи с размерно-качественной характеристикой древесного сырья: дис. ... канд. с.-х. наук. Минск: БГТУ, 2011. 201 с.

### References

1. Sudnik A. V. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po zadaniyu 1.5.2 : Razrabotat' kompleks mer po minimizatsii vozdeystviya stroitel'stva i sodержaniya avtomobil'nykh dorog na rastitel'nost' priorozhnykh territoriy. GNTP "Prirodnyye resursy i okruzhayushchaya sreda". Dogovor № 60-2013/2 (65) ot 05.06.2013. № GR 20131604* [Research report on task 1.5.2: Develop a set of measures to minimize the impact of road construction and maintenance on vegetation in roadside areas. SSTEP «Natural Resources and the Environment». Contract No. 60-2013 / 2 (65) of 06/05/2013. № GR 20131604]. Minsk, 2015. 388 p. (In Russian).
2. Yermakou V. Ya., Atroshchanka A. A., Dzyamid M. P. *Lesauparadkavanne* [Forest management]. Minsk, BGTU Publ., 2002. 500 p.
3. Demid N. P. *Obosnovaniye vozrasta glavnoy rubki sosnovykh drevostoev Belarusi v svyazi s razmerno-kachestvennoy kharakteristikoy drevesnogo syr'ya. Dis. kand. s.-kh. nauk* [Justification of the age of the main logging of pine stands of Belarus in connection with the size and quality characteristics of raw wood. Cand. Diss.]. Minsk, 2011. 201 p. (In Russian).

### Інфармацыя пра аўтара

**Комар Артур Юр'евіч** – магістрант кафедры лесаўпарадкавання. Беларускае дзяржаўнае тэхналагічнае ўніверсітэт (220006, г. Мінск, вул. Сьвярдлова, 13а, Рэспубліка Беларусь). E-mail: artur.komar@tut.by

### Information about the author

**Komar Artur Yur'yevich** – Master's degree student, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: artur.komar@tut.by

*Паступіў 18.03.2019*



УДК 630\*564

**В. В. Коцан, О. А. Севко**

Белорусский государственный технологический университет

**ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ  
С РАЗЛИЧНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРОЙ  
И УСЛОВИЯМИ ПРОИЗРАСТАНИЯ**

В данной работе исследовалось влияние показателей пространственной структуры и условий местопроизрастания на радиальный прирост деревьев. Пробные площади, материалы которых использовались в данной работе, были заложены в чистых сосняках в возрасте 51 года в мшистой и кисличной сериях типов леса. На всех пробных площадях с использованием ГИС QGIS были определены средние расстояния до деревьев-конкурентов, площади конкуренции, средние таксационные показатели деревьев и средние таксационные показатели деревьев-конкурентов, у 20% стволов взяты керны и определен среднепериодический радиальный прирост за 10 лет.

Анализ зависимости радиального прироста от основных таксационных и пространственных критериев показал, что с увеличением диаметра ствола наблюдается повышение среднего периодического радиального прироста, а увеличение пересечения площадей роста отрицательно влияет на радиальный прирост отдельных деревьев. На основании данных наблюдений был предложен индекс потенциального прироста, который рассчитывается делением диаметра ствола на долю пересечения площадей роста.

При регрессионном анализе зависимости радиального прироста от пространственных и таксационных показателей использовались следующие данные: средняя высота деревьев-конкурентов, их средний диаметр кроны и среднее расстояние до соседних деревьев, зависимость радиального прироста от их общего воздействия. Для сосняка мшистого корреляция составила 0,71, для сосняка кисличного – 0,64. Из этого можно заключить, что в бедных условиях произрастания пространственная структура древостоев имеет большее влияние на радиальный прирост и объем ствола.

**Ключевые слова:** конкуренция, рубки ухода, пространственная структура, радиальный прирост, керн.

**V. V. Kotsan, O. A. Sevko**

Belarusian State Technological University

**DYNAMICS OF RADIAL GROWTH OF PINE FORESTS WITH VARIOUS  
SPATIAL STRUCTURE AND GROWING CONDITIONS**

In this work, we investigated the influence of spatial structure and site growth indicators on the radial growth of trees. The test plots, the materials of which were used in this work, were laid in clean pine-trees at the age of 51 years old in mossy and sorrel forest types. On all sample plots, using the QGIS, the average distances to competitor trees, competition areas, average taxation values of trees and average taxation values of competing trees were determined, cores were taken from 20% of trunks and the average radial growth for 10 years was determined.

Analysis of the dependence of the radial growth on the main taxation and spatial indicators showed that with an increase in the diameter of the trunk, an increase in the average periodic radial growth is observed, and an increase in the intersection of growth areas negatively affects the radial growth of individual trees. Based on these observations, the index of potential growth was proposed, which is calculated by dividing the diameter of the trunk by the proportion of the intersection of growth areas.

In the regression analysis of the dependence of the radial growth on the spatial and taxation indicators, the following data were used: average height of competing trees, their average crown diameter and average distance to neighboring trees, and the dependence of the radial growth on their overall impact was described. For mossy pine, the correlation was 0.71, for the sorrel pine was 0.64. Consequently, in poor growth conditions, the spatial structure of forest stands has a greater influence on the radial growth and trunk volume.

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

**Введение.** Изучение пространственной структуры древостоя имеет большое значение для увеличения общей производительности насаждений. Лесные сообщества разделяются на части различной

восприимчивости к тем или иным факторам, следовательно, анализ этих частей может дать ценную информацию о различных факторах, влияющих на лесные насаждения.

Исследованием влияния пространственной структуры на таксационные показатели и в разной степени занимались В. А. Усольцев [1], О. С. Ожич [2] и др.

Точное описание пространственной структуры древостоя, особенно в горизонтальной плоскости, является довольно сложной задачей. Результаты анализа горизонтального размещения деревьев зависят от комплекса факторов, которые иногда сложно идентифицировать и выразить в статистических мерах. Сложность процесса изучения горизонтальной структуры древостоев также обуславливается значительным разнообразием методических подходов к ее анализу. Результаты анализа размещения, полученные с применением различных методик, не всегда сопоставимы. Это связано с анализом пространственной структуры в разных пространственных масштабах или без его учета.

В целом ряде крупных лесозоологических и фитоценологических исследований зарубежных ученых особое внимание уделяется связям, устанавливающимся между факторами внешней среды и древостоем и факторами конкурентного влияния деревьев друг на друга. При этом в большинстве случаев предпринимаются попытки оценить роль взаимного влияния деревьев в составе древостоя с различной структурой – этому и посвящено наше исследование.

**Основная часть.** В течение 2018 г. были заложены пробные площади в чистых сосновых насаждениях в возрасте 51 года в мшистой и кисличной сериях типов леса с картированием деревьев и взятием кернов у каждого 5-го дерева. В камеральных условиях канцелярским ножом с кернов срезались неровности и заломы. Далее

для получения большего контраста между слоями ранней и поздней древесины керны обрабатывались глицерином. Подготовленные керны сканировались с получением растрового изображения (RGB) с разрешением не менее 600 dpi. Полученные изображения загружались в геоинформационную систему QGIS, где изначально проводилась их привязка. Далее строился линейный слой для каждого керна, где длина одной линии равнялась ширине годичного радиального прироста. Автоматически с использованием внутренних средств QGIS определялась ширина всех годичных колец с точностью до сотых миллиметра. Полученные результаты экспортировались в MS Excel для дальнейшего анализа [3].

Для исследования взаимосвязей между таксационными и пространственными показателями отдельных деревьев с помощью пакета программ Statistica был проведен корреляционный анализ. Самая тесная связь была выявлена между площадью горизонтальной проекции кроны и площадью пересечения площадей роста, она составляет 0,823.

Корреляционный анализ показывает, что высота имеет самую тесную связь с диаметром ствола (0,770). Процент пересечения площадей роста имеет среднюю связь с площадью пересечения площадей роста (0,594). Среднее расстояние до деревьев-конкурентов имеет среднюю связь с площадью горизонтальной проекции кроны (0,692). Среднепериодический радиальный прирост за 10 лет имеет слабую связь с диаметром ствола – 0,327.

Графический анализ парных связей среднепериодического радиального прироста изображен на рис. 1 и 2.

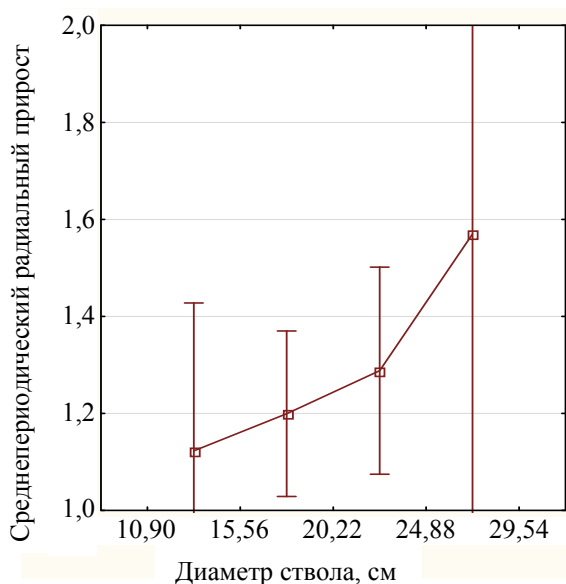


Рис. 1. Зависимость радиального прироста от диаметра ствола

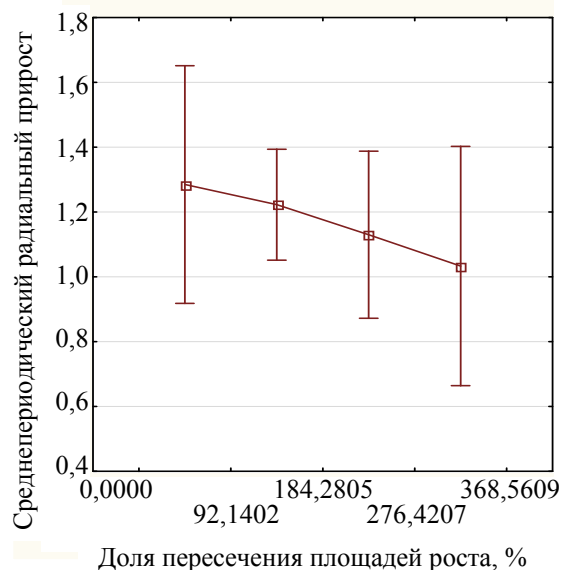


Рис. 2. Зависимость радиального прироста от доли пересечения площадей роста

На рис. 1 представлена зависимость средне-периодического радиального прироста за 10 лет от диаметра ствола. При увеличении диаметра ствола с 12,20 см до 26,80 см возрастает средне-периодический радиальный прирост за 10 лет с 1,10 мм до 1,58 мм. На рис. 2 представлена зависимость среднепериодического радиального прироста за 10 лет от доли пересечений площадей роста. При увеличении доли пересечений площадей роста от 46,5% до 320,6% уменьшается среднепериодический радиальный прирост за 10 лет от 1,30 мм до 1,04 мм.

Далее был проведен регрессионный анализ зависимости радиального прироста от пространственной структуры. Влияние суммы площадей пересечения кругов конкуренции описано с помощью гиперболы 3-й степени. Коэффициент корреляции оказался выше для сосняка кисличного. Явно выражена обратная зависимость радиального прироста от средней высоты соседних деревьев-конкурентов, их среднего диаметра крон. Для описания всех взаимосвязей использовались полиномы 3-й степени. Во всех случаях корреляция для мшистой серии типов леса оказывалась на 0,05–0,10 выше, чем для кисличной серии. Наиболее ярко видно влияние расстояния до деревьев-конкурентов на радиальный прирост: в мшистом типе леса влияние одного этого фактора определяется корреляцией 0,57, в кисличном – 0,47. С использованием таких показателей, как средняя высота соседних деревьев, их средний диаметр кроны и среднее расстояние до соседних деревьев, описана зависимость радиального прироста от суммы их воздействия. Для сосняка мшистой серии составила 0,71, для сосняка кисличного – 0,64. Таким образом, практически по всем показателям было выявлено, что в более бедных условиях произрастания пространственная структура древостоев имеет большее влияние на прирост и объем стволов деревьев.

На основании данных наблюдений был предложен индекс потенциального прироста,

который рассчитывается делением диаметра ствола на долю пересечения площадей роста.

$$I = d / P_{\text{пер}},$$

где  $I$  – индекс потенциального прироста, см/%;  $d$  – диаметр ствола, см;  $P_{\text{пер}}$  – доля пересечения площадей роста, %.

На одной из пробных площадей на основании значений индекса потенциального прироста провели моделирование проходной рубки и дальнейшего роста древостоя до возраста спелости. Полученные результаты сравнили с результатами рубки, проведенной лесхозом, и увеличение прибыли от использования предложенного индекса составило 6%.

Также на основании данных о годичном радиальном приросте одной из пробных площадей был построен график динамики радиального прироста каждого отдельного дерева. Исходя из записей в лесничестве было определено, что в данном выделе в 2008 г. проводилась рубка ухода – прореживание. Деревья на пробной площади были разделены на две группы: получившие после рубки дополнительное жизненное пространство и не получившие его. По данным группам был рассчитан средний годичный радиальный прирост и построен график, изображенный на рис. 3.

Деревья, получившие дополнительную площадь роста, в 2009 г. имели уменьшение радиального прироста, а в 2010–2011 гг. наблюдалось его резкое увеличение от 1,3 мм до 1,8 мм в год. Далее идет снижение данного показателя до уровня предыдущего периода. На основании наблюдения можно заключить, что деревья, получившие дополнительную площадь роста после рубки, изначально снижают прирост из-за стресса, а через 1–2 года увеличивают радиальный прирост на протяжении 2–3 лет. Следовательно, рубки ухода приводят к увеличению радиального прироста только тех деревьев, которые получили дополнительное жизненное пространство.

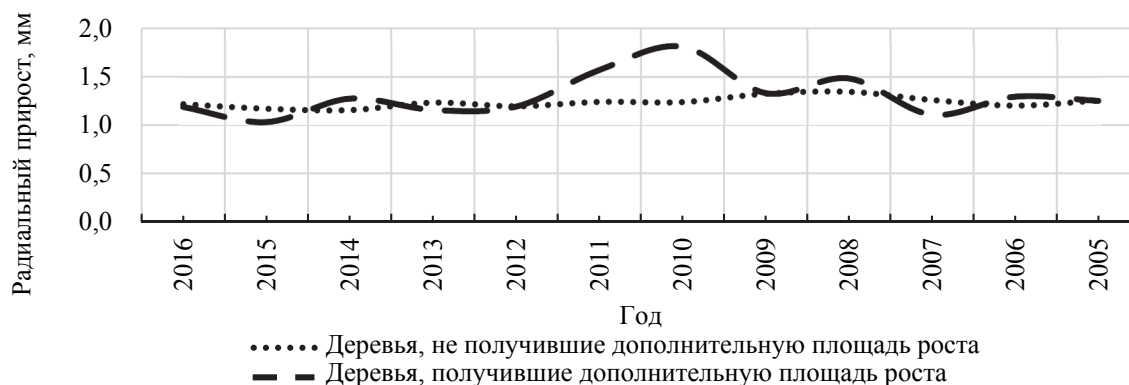


Рис. 3. Динамика радиального прироста в древостое после проведения рубки ухода

**Заключение.** Основываясь на индексе потенциального прироста, можно проводить отбор деревьев в рубки ухода. Для максимального прироста оставляемой части древостоя необходимо

покидать деревья с большими диаметрами (низовой метод), при этом обращать внимание на равномерное их распределение по площади для уменьшения конкурентного влияния друг на друга.

### Литература

1. Усольцев В. А., Семышев М. М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер. «Лес. Экология. Природопользование». 2010. № 2. С. 5–13.
2. Ожич О. С., Толкач И. В. Автоматизированная система измерительного дешифрирования чистых сосновых древостоев на цифровых аэро- и космических снимках // Лесное хозяйство: тез. докл. 81-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–12 февраля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 16.
3. Коцан В. В. Продуктивность сосняков мшистых искусственного происхождения различной пространственной структуры в лесорастительных условиях Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Минск, 2016. 22 с.

### References

1. Usoltsev V. A., Semyshev M. M. Production characteristics with regard to the competition of trees in artificial and natural pine forests: a comparative analysis. Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Mari State Technical University], series "Forest. Ecology. Nature", 2010, no. 2, pp. 5–13 (In Russian).
2. Ozhich O. S., Tolkach I. V. Automated system for measuring the interpretation of pure pine stands on digital airborne and satellite images. Tez. dokl. 81-y nauch.-tekhn. konf. "Lesnoye khozyaystvo" [Theses of the 81st scientific and technical conference "Forestry"]. Minsk, 2017, p. 16 (In Russian).
3. Kotsan V. V. Produktivnost' sosnyakov mshistykh iskusstvennogo proishozhdeniya razlichnoy prostanstvennoy struktury v lesorastitel'nykh usloviyakh Belarusi. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk [Productivity of mossy pine forests of artificial origin of various spatial structure in forest growing conditions of Belarus. Abstract of thesis cand. of agricult. sci.]. Minsk, 2016. 22 p.

### Информация об авторах

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

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

### Information about the authors

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

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

Поступила 18.03.2019

УДК 630\*562

**В. П. Машковский, П. В. Севрук**

Белорусский государственный технологический университет

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКА  
НАЗНАЧЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ В СПЛОШНОЛЕСОСЕЧНУЮ РУБКУ**

Разработаны средства автоматизации вычислений в Microsoft Excel для назначения порядка поступления древостоев в сплошнолесосечную рубку главного пользования с учетом динамики стоимости среднего прироста древесины (1-й вариант программы) и среднего прироста крупной и средней древесины (2-й вариант программы). В качестве исходных данных выступают ведомость выделов, запроектированных в главное пользование для лесохозяйственного учреждения, и утвержденный размер расчетной лесосеки по хозсекциям. С применением различных функций производится отбор только тех древостоев, которые запроектированы в сплошнолесосечную рубку; с использованием динамики среднего прироста определяются потери от несвоевременной рубки; проектируется улучшенный план с учетом потерь; распечатываются планы отвода лесосек по годам ревизионного периода. Кроме того, выполняется автоматический контроль, чтобы исключить случаи, когда назначенная площадь лесосеки больше площади выдела. По величине расчетной лесосеки выполняется автоматический контроль объема вырубаемого запаса. Представленные средства в Microsoft Excel позволяют автоматизировать процесс планирования лесосечного фонда, проводить многовариантные расчеты, оценивать принятые планы рубки. В результате планирования можно добиться уменьшения потерь от несвоевременной сплошнолесосечной рубки путем более полного использования среднего прироста.

**Ключевые слова:** средства автоматизации вычислений, лесопользование, средний прирост, потери, планы отвода.

**V. P. Mashkovsky, P. V. Sevruk**

Belarusian State Technological University

**AUTOMATION OF THE PROCESS OF DETERMINING PRIORITIES  
OF STANDS INTO CLEAR CUTTING**

The tools for automating computations in Microsoft Excel have been developed to assign the priorities of stands into clear cutting use taking into account the dynamics of the cost of average increase of timber (1st version of the program) and the average increase of large and medium timber (2nd version program). As a source of data, there is a statement of the allocations subcompartment for the main use for the forestry enterprise, and the approved size of the allowable cut for utility sections. Using various functions, only those stands are selected that are designed in a clear cutting; the losses from late delivery in cutting are defined using the dynamics of average increase; design an improved plan taking into account losses; and printed out plans for allotment plans by year of auditorial period (“*revizionnyy period*”). In addition, automatic control is performed to exclude cases when the designated area of the cutting is larger than the area of the subcompartment. According to the size of the allowable cut, an automatic control of the volume of cut stock is performed. The presented tools in Microsoft Excel allows to automate the process of planning a cutting fund, carry out multivariate calculations, and evaluate the adopted cutting plans. As a result of planning, it is possible to achieve a reduction in the losses from late delivery in clear cutting by more fully using the average increase.

**Key words:** computing automation, forest harvesting, average increase, losses, allotment plans.

**Введение.** На современном этапе развития информационных технологий разработано большое количество программных комплексов, позволяющих решать разнообразные задачи для принятия эффективных управленческих решений при минимальных затратах времени. Лесное хозяйство данная тенденция также не обошла стороной, в нашей стране успешно функционируют разнообразные специализированные программные средства – географические информационные системы (ГИС), включая мобильные системы («Лесные ресурсы», «ГИС-лес»),

автоматизированное рабочее место (АРМ) «Лесопользование», 1С Предприятие [1]. Данные программные средства не используются для решения задачи планирования лесосечного фонда.

Система «СОЛИ-2», применяемая в настоящее время белорусским лесоустройством, позволяет решить данную задачу. Основана она на алгоритме прошлой всесоюзной унифицированной программы «СОЛИ-1» [2]. В системе «СОЛИ-2» для лесохозяйственного учреждения формируется ведомость выделов, запроектированных в рубку главного пользования на ревизионный период.

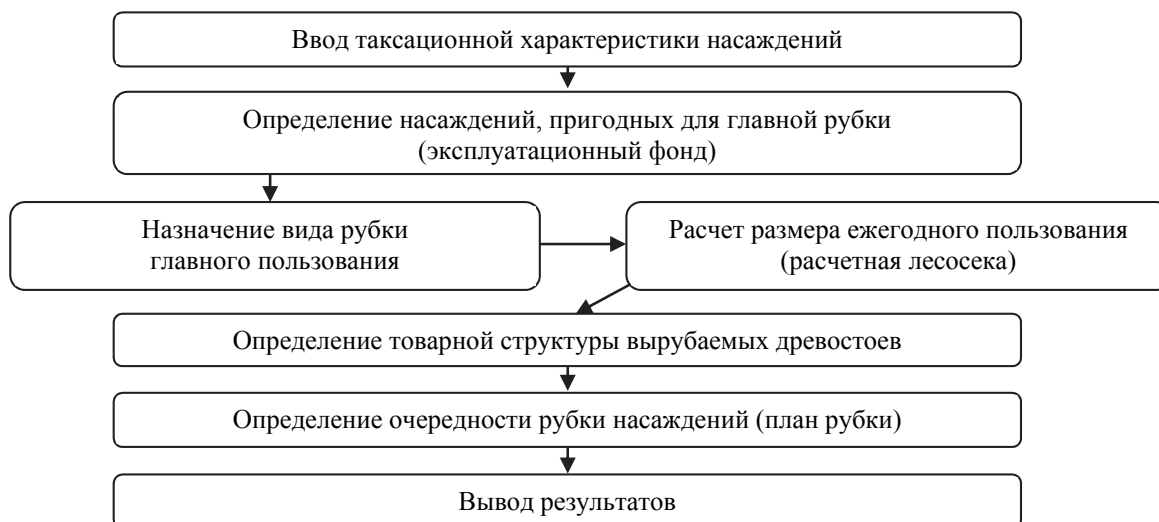


Рис. 1. Порядок оптимизации главного лесопользования

Все древостои распределяются в главное пользование по пятилетиям (десятилетиям) в рамках хозсекции, однако оптимальный год рубки для отдельных древостоев не устанавливается.

Товаризация в Беларуси выполняется по разработанным Институтом леса НАНБ (В. Ф. Багинский) и уточненным лесоустройством (А. Г. Костенко, С. И. Цай) белорусским товарным таблицам [3], которые позволяют определить выход деловой древесины по четырем категориям крупности, технологических и топливных дров. Товаризация производится автоматически по всем элементам леса в составе древостоя. Данная информация позволяет получить более точные данные о породном ассортименте древесины, в отличие от расчетной лесосеки, поскольку она определяется по преобладающей породе без учета существующего состава лесов [2] (рис. 1).

**Основная часть.** В нашем исследовании ставится цель выполнить планирование сплошнолесосечной рубки главного пользования по годам ревизионного периода на основе уменьшения потерь от несвоевременного поступления древостоев в рубку. Для расчета потерь использованы данные динамики стоимости среднего прироста древесины и среднего прироста крупной и средней древесины [4]. Использование среднего прироста обусловлено тем, что он положен в основу определения некоторых спелостей леса, которые в свою очередь влияют на величину возраста рубки [2, 5].

Для автоматизации данного процесса нами предложены средства автоматизации вычисле-

ний в программе Microsoft Excel. В качестве исходных данных используются материалы лесоустройства – ведомость выделов, запроектированных в рубку главного пользования на ревизионный период для лесохозяйственного учреждения, и величина расчетной лесосеки по хозсекциям (добавляются на листы программы).

Также необходимо добавить регрессионные уравнения связи стоимости среднего прироста древесины (1-й вариант программы) и среднего прироста целевых сортиментов (2-й вариант программы) в зависимости от таксационных показателей по элементам леса.

Для выбора из исходной ведомости древостоев, запроектированных только в сплошнолесосечную рубку, использована следующая функция (схема 1). Первое условие позволяет удалить из текста лишние пробелы (пустые символы), а второе – возвращает заданное число знаков из строки текста, начиная с указанной позиции.

В большинстве случаев лесотаксационная информация для древостоя указана только для главной породы, которая применяется и для сопутствующих пород. Однако в тех случаях, когда показатели различаются, указывается информация и для главной, и для сопутствующих пород. Для этого в программе использован следующий логический оператор, который позволяет применять лесотаксационную информацию для сопутствующей породы в зависимости от того, где она указана (формула на схеме 2).

= СЖПРОБЕЛЫ(ПСТР(Номер\_строки; Номер\_позиции\_в\_строке; Количество\_извлекаемых\_знаков)

Схема 1

= ЕСЛИ([Логическое\_выражение → ДЛСТР(Таксационный\_показатель = 0);  
[ИСТИНА → Показатель\_по\_преобладающей\_породе];  
[Ложь → Показатель\_по\_сопутствующей\_породе])

Схема 2







	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1						Утверждаю							Год ревизионного периода					2019
2				Директор		Сморгонского оп.		лесхоза					Группа леса					Эксплуатационные леса
3								Шостаков А. П.					Способ рубки					Сплошная рубка
4						подпись			Ф.И.О.									
5						"			20	г.								
6						План отвода лесосек на		2019		год								Скрыть пустые ячейки
7						по	Сморгонскому		лесничеству	Сморгонского оп.	лесхоза							
8																		
9						Подлежит отводу												
10						Запас												Показать все ячейки
11		Номер квартала	Номер выдела	Главная порода	Площадь, га	Общий, м <sup>3</sup>	ликвидный, м <sup>3</sup>			Примечание								
12		1. Рубки главного пользования																
13		Эксплуатационные леса																
14		Сплошная рубка																
15	1	10	C		0,00	0	0	Труднодоступные										
16	68	8	C		0,00	0	0	Труднодоступные										
17	89	43	ОЛЧ		0,00	0	0	Труднодоступные										
18	4	2	C		1,00	311	273											
22	22	7	C		0,00	0	0											
23	22	15	C		20,00	3823	3371											
24	23	10	C		0,00	0	0											

Рис. 5. Лист «Печать» (пример)

Для получения усовершенствованного плана (с уменьшенными общими потерями в ревизионном периоде) необходимо следовать приведенной методике:

- в первую очередь необходимо назначать древостои в рамках хозсекции, у которых минимальные потери наблюдаются в первом году ревизионного периода до полного их исключения (так как их динамика идет к постепенному увеличению);

- затем включаются древостои, у которых минимальные потери происходят во втором и последующем (кроме последнего) годах. Порядок их назначения зависит от года ревизионного периода, когда наблюдаются минимальные потери, и величины потерь (т. е. раньше надо назначать выделы, которые оптимально рубить в более раннем году ревизионного периода).

Если несколько выделов оптимально рубить в один год (например, во второй, 2020), то в первую очередь включаются древостои с наибольшей величиной потерь (чтобы в дальнейшем они не увеличивались еще больше)). После полного их исключения остаются древостои, у которых минимальные потери наблюдаются в последнем году ревизионного периода;

- для древостоев, у которых минимальные потери наблюдаются в последнем году ревизионного периода, в первую очередь назначаются с наименьшей величиной потерь (так как их динамика идет к постепенному уменьшению).

Когда по всем хозсекциям все древостои запроективаны в рубку, выполняется контроль площади для запроективанных выделов и контроль лесосеки по запасу, следующим шагом остается печать плана отвода лесосек на предстоящие годы ревизионного периода.

Печать плана выполняется на листе «Печать» (рис. 5). На данном листе в ячейке «Год ревизионного периода» нужно указать год, для которого нужно сформировать план отвода лесосек (например, 2019). В результате для тех древостоев, которые были запроективаны в рубку в данный год ревизионного периода, в столбце формы «Площадь, га» будет указана площадь, которая подлежит отводу (например, «1,0»). Для тех выделов, которые не были запроективаны в рубку, будет указано значение «0». Выполняются вышеописанные действия с использованием следующей формулы (схема 5).

Первая функция («ИНДЕКС») возвращает значение на пересечении конкретных строки и столбца в данном диапазоне. Вторая («ПОИСКПОЗ») возвращает относительную позицию в массиве элемента, соответствующую указанному значению с учетом указанного порядка.

Чтобы при печати не выводить древостои, не запроективанные в рубку (т. е. где значение «0»), необходимо скрыть строки с данными выделами. Для этого созданы активные кнопки «Скрыть пустые ячейки» и «Показать все ячейки» и написан код в Microsoft Visual Basic для выполнения указанных действий (рис. 6).

= ИНДЕКС(Диапазон\_строк\_поиска;Номер\_строки;[Номер\_столбца →  
→ ПОИСКПОЗ(Год\_ревизионного\_периода;Диапазон\_лет\_ревизионного\_периода;  
Тип\_сопоставления)),

Схема 5

<pre>Private Sub CommandButton1_Click() Dim cell As Range Application.ScreenUpdating = False For Each cell In ActiveSheet.UsedRange.Columns(5).Cells   If cell.Value = "0" Then cell.EntireRow.Hidden = True Next Application.ScreenUpdating = True End Sub</pre>	<pre>Private Sub CommandButton2_Click() Columns.Hidden = False Rows.Hidden = False End Sub</pre>
<i>a</i>	<i>б</i>

Рис. 6. Код в Microsoft Visual Basic на:  
*a* – скрытие ячеек; *б* – отображение ячеек

$$= \text{ОКРУГЛ}\left(\frac{\text{Площадь\_подлежащая\_отводу}}{\text{Площадь\_выдела}} \cdot \frac{\text{Общий\_запас}(\text{Общий\_объем\_ликвида})}{\text{Число\_разрядов}}\right),$$

Схема 6

Путем нажатия кнопки «Скрыть пустые ячейки» будут отображены только древостои, подлежащие отводу в данный год ревизионного периода. После печати необходимо вернуть отображение всех выделов согласно рис. 5 путем нажатия кнопки «Показать все ячейки».

Кроме того, в зависимости от площади, подлежащей отводу, рассчитывается общий и ликвидный запас, подлежащий отводу, с помощью формулы, представленной на схеме 6, с округлением до целого числа.

В конечном итоге получившийся план можно вывести на печать.

В общем виде алгоритм процесса планирования очередности сплошных рубок главного пользования на основе использования динамики среднего прироста представлен в публикации [8].

**Заключение.** Представленный порядок работы в электронной таблице Microsoft Excel позволяет автоматизировать процесс планирования

лесосечного фонда, проводить многовариантные расчеты по очередности назначения древостоев в сплошную рубку главного пользования, оценивать принятые планы рубки, а также контролировать величину вырубаемой площади и ежегодный размер пользования. В результате планирования можно уменьшить потери от несвоевременного поступления древостоев в рубку путем более полного использования среднего прироста.

Данная программа будет эффективна для применения работниками лесного хозяйства (конечным пользователем), так как, во-первых, большинство процессов автоматизировано; во-вторых, позволяет рассчитывать большое количество вариантов планов рубок, в т. ч. с учетом текущих потребностей в древесине и изменений в лесном фонде (могут возникнуть в результате неблагоприятных природных явлений (ветровалы и буреломы, пожары, усыхание древостоев в результате повреждения древостоев вредителями и болезнями леса)).

### Литература

1. Толкач И. В. Основные направления развития системы лесоустройства и методов инвентаризации лесов Беларуси // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 50–53.
2. Ермакоў В. Я., Атрошчанка А. А., Дзямід М. П. Лесаўпарадкаванне. Мінск: БДТУ, 2002. 500 с.
3. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР: утв. приказом Гослесхоза СССР 17.06.1982. М.: Центр. бюро науч.-техн. информ., 1984. 308 с.
4. Машковский В. П., Севрук П. В. Составление планов рубок леса на основе оценки среднего прироста // Труды БГТУ. 2018. № 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 20–24.
5. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси: история, современное состояние, проблемы и перспективы. Минск: Беларус. навука, 1996. 367 с.
6. Машковский В. П. Методика оценки потерь от несвоевременного поступления древостоев в рубку // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хозяйство. 2008. Вып. XVI. С. 21–25.

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

8. Севрук П. В., Машковский В. П. Планирование очередности сплошных рубок с использованием среднего прироста // Лесное хозяйство: практика, наука, образование: материалы докл. Междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 2018. С. 149–152.

### References

1. Tolkach I. V. The main directions of development of forest management and methods of forest inventory of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 50–53 (In Russian).

2. Ermakou V. Ya., Atroshchanka A. A., Dzyamid M. P. *Lesauparadkavanne* [Forest Inventory]. Minsk, BGTU Publ., 2002. 500 p.

3. *Normativnyye materialy dlya taksatsii lesa Belorusskoy SSR: utv. prikazom Gosleskhoza SSSR* [Regulatory materials for forest taxation of the Belarusian SSR: approved order of the USSR State Forestry committee]. Moscow, Tsentral'noye byuro nauchno-tekhnicheskoy informatsii Publ., 1984. 308 p.

4. Mashkovsky V. P., Sevruk P. V. Compilation of the cutting plan based on of estimation of the average increase. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2018, no. 1: Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, pp. 20–24 (In Russian).

5. Baginski 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.

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

7. Sevruk P. V. Dynamics of the cost of average increase of timber at change of the price index for timber. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2018, no. 1: Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, pp. 31–36 (In Russian).

8. Sevruk P. V., Mashkovsky V. P. Planning of priorities of clear cutting with the use of average increase. *Materialy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Lesnoye khozyaystvo: praktika, nauka, obrazovaniye"* [Materials of reports international scientific-practical conference "Forestry: practice, science, education"]. Gomel, 2018, pp. 149–152 (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

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

### Information about the authors

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

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

Поступила 18.03.2019

УДК 630\*782

**О. А. Севко, М. С. Пастушенко**

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА НАПОЛНЕНИЯ ДАННЫМИ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ  
ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ**

В статье представлены результаты работы, проведенной на примере Лименского лесничества ГЛХУ «Чериковский лесхоз» по материалам на январь 2019 г. Целью исследования было построение транспортной задачи по перевозке круглых лесоматериалов с промежуточных складов потребителю. Вводными значениями в данную задачу являются возможные объемы лесоматериалов, имеющиеся на складах поставщиков, потребности в продукции, тарифный план на перевозку от поставщика к потребителю. Исходными данными послужили отчеты об отводах лесосек под рубки, в которых представлена товарная структура вырубленной древесины. Далее оценивались нижние склады, которые в течение месяца нуждаются в пиловочном бревне сосны диаметром 14–24 см. Для получения тарифного плана расстояние вывозки древесины определялось с использованием мобильного приложения ГЕОТРЕКЕР. Дальнейшая работа проводилась в QGIS. Затем осуществлялась привязка планшета лесничества к карте для получения расположения промежуточных складов. При работе также был использован спутниковый снимок Landsat 8 в панхроматическом канале для сравнения точности построения маршрута.

Применение данной методики позволит лесхозам планировать свою деятельность по заготовке древесины с учетом оптимального расстояния вывозки, доводить планы по заготовке лесничествам, что в конечном итоге даст возможность сократить затраты на вывозку древесины.

**Ключевые слова:** транспортная задача, перевозка, оптимизация вывозки, древесина, сортименты.

**O. A. Sevko, M. S. Pastushenko**

Belarusian State Technological University

**THE METHODOLOGY FOR THE PROVISIONING OF THE TRANSPORTATION  
PROBLEM TO OPTIMIZE THE TRANSPORT OF ROUND TIMBER**

The article presents the results of work carried out on the example Limanskogo forestry SFI Cherikov forestry according to materials for the month of January 2019. The purpose of the study was to build a transport problem for the transportation of round timber from the daily warehouses to the consumer. The input values in this task are the possible volumes available in the warehouses of suppliers, the needs for products, the tariff plan for transportation from supplier to consumer. The initial data were the reports on allotments of cutting areas for cutting, in which the commodity structure of the cut wood is presented. It was further estimated lower warehouses, which within a month will need to saw the pine logs with a diameter of 14 to 24 sm, see To retrieve the tariff plan distance removals were determined using the mobile app GEOTRACKER. Further work was carried out in QGIS. Next, the forestry tablet was tied to the map to obtain the location of intermediate warehouses. The satellite image of Landsat 8 in the panchromatic channel was also used to compare the accuracy of the route.

The use of this technique will allow forestry to plan their activities for timber harvesting, taking into account the optimal distance of removal, to bring plans for harvesting forestry, which ultimately will reduce the cost of timber removal.

**Key words:** transportation task, transportation, optimization of transportation, wood, assortments.

**Введение.** В настоящее время в лесном хозяйстве Республики Беларусь стоит задача в увеличении объема выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью. Однако с увеличением выручки, получаемой от реализации продукции лесохозяйственными учреждениями страны, пропорционально растут и затраты на получение необходимого продукта. Лесхозы и деревообрабатывающие предприятия ежедневно имеют целью осуществление непрерывной работы своих подразделений. Древесина – сырье, которое при

несвоевременной обработке может потерять свои качественные характеристики. В связи с этим в нормативных документах четко отражено время, в течение которого заготовленная древесина может храниться без химической или механической обработки. Оперативность доставки древесины дает возможность бесперебойно работать производителям и снижать простой механизмов.

Древесина в настоящее время перемещается с промежуточных складов исключительно автомобильным транспортом, затем может перегружаться

на железнодорожный транспорт. Загрузка железнодорожного транспорта должна происходить незамедлительно. В этих условиях перед предприятием стоит цель в сокращении временных затрат, необходимых на перевозку древесины с промежуточного склада к железнодорожной станции, включая погрузку-разгрузку лесовоза. Погрузка и разгрузка – это неотъемлемые работы в транспортном процессе перевозки лесных грузов. Их относят к тяжелым и трудоемким работам, так как затраты на их выполнение сопоставимы с затратами на собственно перевозки. Удельный вес погрузочно-разгрузочных работ при перевозках автомобильным транспортом в общих затратах составляют 25–30%, а при перевозках на короткие дистанции достигает 50% [1].

В условиях, когда скорость перевозки древесины не так важна, сокращение материальных затрат на доставку 1 м<sup>3</sup> древесины должно составлять одну из основных задач.

Вопросами о планировании, организации, управлении и контроле движения материальных и информационных потоков в пространстве и времени от их первичного источника до конечного потребителя занимается логистика.

**Основная часть.** Актуальность проблемы поиска эффективных методов решения задачи логистики лесоматериалов значительно выросла за последние несколько лет из-за увеличенных объемов лесозаготовок, осуществляемых с использованием сортиментной (скандинавской) технологии. Однако данная технология усложняет задачу по поиску оптимального решения грузоперевозок, так как нет необходимости в нижних складах и увеличенной спецификации лесопродукции. Потребителю при сортиментной заготовке древесины может реализовываться с промежуточного склада. Это приводит к тому, что стандартные схемы организации перевозок оказываются малоэффективными, а построение более эффективных планов, ввиду сложности задачи, может быть осуществлено только при условии использования современных логистических методов, реализуемых в специальном прикладном программном обеспечении.

А. П. Соколов, В. С. Сютёв, Ю. Ю. Герасимов, Т. Карьялайнен [2] описали создание компьютерной информационно-вычислительной системы поддержки принятия решений для оптимизации лесозаготовительных планов и логистики заготовленной древесины (СППР). СППР была создана в среде MapInfo с использованием для программирования языков MapBasic и C++, а также Microsoft Excel для формирования отчетов. Среда MapInfo обеспечивает возможность создания с помощью MapBasic программ с интерфейсом пользователя и специализированными диалоговыми окнами.

Геоинформационная система (ГИС) используется для определения расположения и соединения посредством дорожной сети лесосек, терминалов, потребителей и гаражей.

Сделан вывод, что применение методов логистики, которые бы позволили решать эту задачу в условиях компаний, существенно повышает эффективность работ по вывозке продукции лесозаготовок [2].

Оптимизация расписания вывозки древесины с использованием СППР позволила увеличить объем древесины на 10%. Общий пробег остался на том же уровне, но общее рабочее время уменьшилось на 22%. Коэффициент использования автопарка незначительно снизился на 19%, индекс пробега с грузом увеличился на 30%, а общий объем перевезенной древесины на 1 км пробега увеличился на 42% [2].

Логистический подход к управлению материальными потоками на предприятии позволяет максимально оптимизировать выполнение комплекса логистических операций. По данным фирм «Бош-Сименс», «Митсубиси», «Дженерал моторс» [1], один процент сокращения расходов на выполнение логистических функций имел тот же эффект, что и увеличение на 10% объема сбыта.

Детально вопросы теории и оптимизации лесной логистики рассмотрены в трудах ученых Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета: Салминена Э. О., Яшина А. В., Стороженко С. С. и др.; Петрозаводского государственного университета: Герасимова Ю. Ю., Катарова В. К., Соколова А. П., Сютёва В. С. и др.; ученых Университета Йозенсуу: Tuomo Nurminen и Jaakko Heinonen. Тема имитационного моделирования логистических систем раскрыта в трудах Ю. И. Толуева, Т. П. Замановской, труды ученых Антонова А. В., Волкова В. Н., Денисова А. А., Вентцель Е. С., Гайдеса В. А. посвящены системному анализу [3].

Крайне значимы работы ученых Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета в области оптимизации логистики лесозаготовительных предприятий Салминена Э. О., Яшина А. В., Стороженко С. С. и др. В работах приведен анализ особенностей функционирования транспортно-технологического процесса лесозаготовительного предприятия, разработаны логистико-математические модели оптимизации транспортных потоков и алгоритмы оптимального планирования транспортных грузопотоков на предприятии и управления ими в условиях многовариантности потребителей, использования различных типов транспортных средств, наличия погрузочных пунктов и с учетом сезонности грузоперевозок. Описана и апробирована созданная интегрированная диалоговая

система планирования и управления транспортными грузопотоками. При решении поставленных в работе задач авторы использовали различные аналитические методы линейной и нелинейной оптимизации, методы теории двойственности, методы календарного планирования, математической статистики и принятия решений [4, 5].

Ввиду того, что заказчики (потребители) используют различные виды лесопродукции (например, лесопильные комбинаты – сосновый, еловый и березовый пиловочник; целлюлозно-бумажные комбинаты – еловые, сосновые или березовые балансы; дровяная древесина используется населением для отопления и сжигается в муниципальных котельных и котельных различных предприятий), оптимизировать процесс вывозки по суммарным объемам поставляемого всем предприятиям леса не представляется возможным. Оптимизацию процесса транспортировки леса следует производить по каждому виду продукции [6].

Задача определения плана перевозок лесоматериалов (пиловочник, баланс, дрова) с лесосечных пунктов в пункты их потребления оптимальным маршрутом сводится к постановке и решению транспортной задачи (задача Монжа – Канторовича). На основании этой задачи построена математическая модель, в которой оптимальность маршрута характеризуется критерием минимальной стоимости перевозки лесной продукции. Расстояние транспортировки между лесосечными пунктами и пунктами потребления, стоимость перевозки на один километр дороги для каждого вида продукции, а также вырабатываемые и потребляемые объемы лесной продукции задаются условиями задачи. Общий план перевозок различных видов лесной продукции строится на основании решений нескольких задач для каждого из этих видов. Число задач зависит от количества видов рассматриваемых лесоматериалов. Для каждой задачи необходимо найти решения систем уравнений, в которых количество уравнений зависит от количества пунктов-потребителей и пунктов, вырабатывающих лесную продукцию [6].

В работах таких ученых, как Толуев Ю. И., Замановская Т. П. [7, 8, 9, 10], раскрываются сущность и основные принципы имитационного моделирования логистических сетей, процессов и материальных потоков, описываются различные инструменты, используемые для моделирования.

Ю. И. Толуев [7] раскрыл понятие логистической сети, и, согласно его классификации, логистические сети могут быть внутренними (сети логистики промышленного или логистического

предприятия) и внешними (сети внешней логистики предприятия, или сети поставок).

Для построения логистических систем автор предлагает метод имитационного моделирования, так как имитационные модели, являясь производным количественных моделей, позволяют оценивать большую часть показателей производительности в виде временных рядов, а не в виде констант, что отражает динамику процессов, развивающихся в реальных системах [3].

Автор данной работы приводит пример использования имитационных моделей для построения концептуальных моделей логистических систем, ориентированных на изучение материальных потоков в логистических сетях, и предлагает применять следующую методику, включающую принципы построения частичных моделей, а именно:

- моделей структуры системы обработки материальных потоков;
- моделей ассортимента и количества грузов в потоках;
- моделей пространственной вложенности грузов, носителей груза, транспортных средств и стационарных хранилищ груза;
- временных моделей входных потоков системы;
- моделей для определения длительности технологических операций;
- моделей маршрутизации динамических объектов (транспортных средств, носителей груза и самих грузов);
- моделей объединения и разделения динамических объектов;
- моделей стратегий обработки очередей ожидания;
- моделей стратегий управления запасами;
- моделей процессов распределения ресурсов и диспетчеризации [3].

Примечательна работа ученых Университета Йозенсуу Tuomo Nurminen и Jaakko Heinonen [11]. Здесь описывается исследование, проведенное с целью определения затрат времени на различные этапы транспортировки древесины с делянок до потребителей в Финляндии. Основной задачей ученых в данном исследовании было создание модели временных затрат для типовых перевозок древесины на территории Финляндии, а также статистическая обработка полученных данных. Полученные модели и результаты, по мнению авторов, являются многообещающим инструментом для поддержки планирования и оптимизации транспортных маршрутов.

Вопросами системного анализа и исследования операций занимались такие ученые, как Антонов А. В. [12], Волкова В. Н., Денисов А. А. [13], Вентцель Е. С. [14], Гайдес В. А. [15].

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Номер лесного квартала	Номер лесосеки	Номера таксац. выделов	Площадь экспл. га	Хозсекция	Хозяйство	Тип леса	Объем хлыста средни	Группа способа рубки	Способ рубки	Метод реализации	деловой	дровяной	ликвидный
43	3	49	2,4	сосновая	хвойн.	черничный	0,31	проходная рубка	\ нет \	Нет	298	40,8	
5	1	50	1,9	сосновая	хвойн.	мшистый	0,09	прореживание	\ нет \	Нет	89,87	42,18	
55	1	4	3,9	сосновая	хвойн.	мшистый	0,06	прореживание	\ нет \	Нет	71,48	33,06	
6	1	48	2,1	сосновая	хвойн.	мшистый	0,08	прореживание	\ нет \	Нет	112,06	58,8	
								6/48	сосна	средняя	33,79	48,68	
										мелкая	64,91		
								55/4	сосна	средняя	7,51	15,31	
										мелкая	35,49		
								5/50	сосна	средняя	20,52	48,68	
										мелкая	51,49		
								43/49	сосна	крупная	56	19	
										средняя	136,4		
										мелкая	56,6		

Рис. 1. Возможные объемы заготовки древесины в течение предстоящего месяца работы

Нами работа проводилась на примере Лименского лесничества ГЛХУ «Чериковский лесхоз» по материалам на январь 2019 г. Исходными данными послужили отчеты об отводах лесосек под рубки, в которых представлена товарная структура вырубаемой древесины. Эта информация может экспортироваться оперативно, по мере потребности с помощью АРМ «Лесопользование». На рис. 1 представлена вводная таблица для составления возможной заготовки древесины в течение предстоящего месяца работы. Планирование заготовок и перевозок должно осуществляться в узком направлении, например, по категориям крупности. Таким образом, мы получаем заготовленную продукцию в течение января и требующую дальнейшей транспортировки.

Следующий шаг – просмотр нижних складов, которые в течение месяца будут нуждаться в пиловочном бревне сосны диаметром 14–24 см. В лесхозе потребителями такого вида сортиментов являются цех деревообработки в деревне Гронов, индивидуальный предприниматель, осуществляющий переработку при предоставлении услуг лесхозам, и железнодорожная станция «Веремейки».

Наилучшим образом обеспечить минимальные затраты на перевозку груза помогает транспортная задача «Потребители – поставщики». Поставщиками в данной ситуации считаем промежуточные склады. Вводными значениями в данной задаче являются потребности в продукции, возможные объемы, имеющиеся на складах поставщиков, тарифный план на перевозку от поставщика к потребителю. Чтобы получить тарифный план, необходимо знать расстояние вывозки древесины. Для этого было использовано мобильное приложение ГЕОТРЕКЕР. Интерфейс представлен на рис. 2. Данное приложение дает возможность построить маршрут перевозки.

Дальнейшая работа проводится в геоинформационной системе QGIS. В ГИС маршрут в формате GPX загружается с трекера. В QGIS точки проходят векторизацию, затем идет построение

линии маршрутов. Далее проводится привязка планшета лесничества к карте для получения расположения промежуточных складов.

При работе также был использован спутниковый снимок Landsat 8 в панхроматическом канале для сравнения точности построения маршрута.

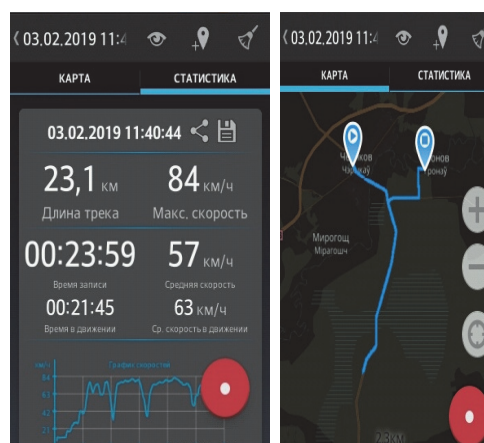


Рис. 2. Интерфейс мобильного приложения ГЕОТРЕКЕР

На следующем этапе на картографию необходимо нанести промежуточные склады. Это можно сделать несколькими способами. Первый – нанести непосредственно вручную на картографию. Второй – записать координаты точки GPS-приемником.

На рис. 3 представлена полученная картографическая информация о расположении промежуточных складов с продукцией, которую необходимо транспортировать в течение предстоящего месяца. На картографию нанесена квартальная сеть Лименского лесничества. Промежуточные склады проектируются на основании данных о выписке лесорубочных билетов на предстоящий месяц. Необходимо понимать, что на один промежуточный склад может подвозиться продукция с нескольких лесосек, находящихся на небольшом расстоянии. Участок маршрута по грунтовой дороге представлен серым цветом, участок по дороге с асфальтированным покрытием – белым.

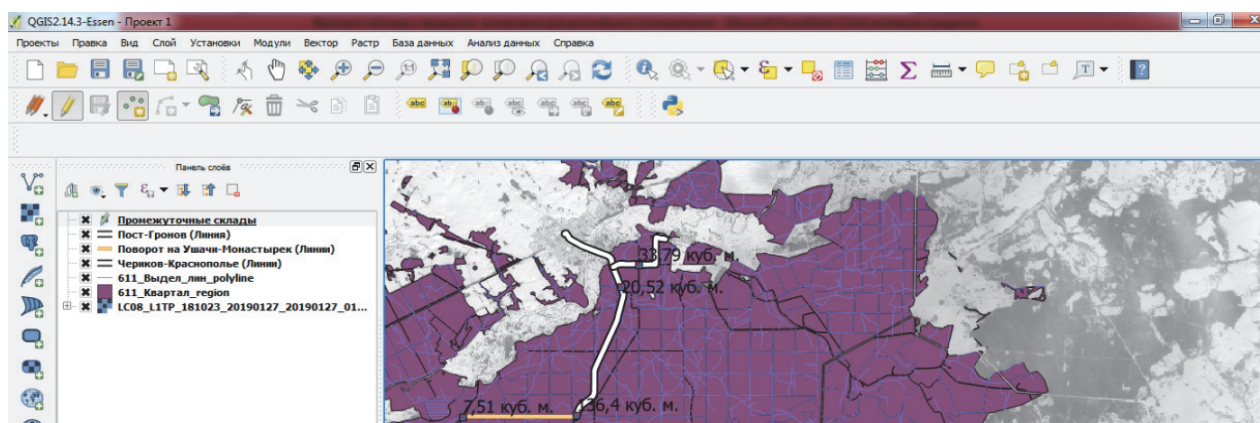


Рис. 3. Картографическая информация по Лименскому лесничеству о расположении промежуточных складов с необходимой продукцией

Поставщики	Лесной квартал				Требуются, м <sup>3</sup>
	6	55	5	43	
Потребители					
Цех деревообработки д. Гронов	2,6	15,0	4,9	12,0	95
Станция "Веремейки"	30,0	39,0	29,0	37,0	76,42
ИП	7,3	17,0	7,1	14,0	25
Имеется, м <sup>3</sup>	33,8	7,5	20,5	134,6	196,42

Рис. 4. Матрица транспортной задачи

После построения векторной базы необходимо определить расстояние вывозки. Его можно получить в QGIS, с помощью трекера, с помощью одометра сортиментовозов. Как правило, на территории лесхоза маршруты перевозок остаются практически постоянными. Однако наиболее оперативным способом является измерение расстояния с помощью ГИС-технологий, GPS-навигации.

Заполненная матрица транспортной задачи в окончательном варианте представлена на рис. 4.

**Заключение.** Использование данной методики позволит лесхозам планировать свою деятельность по заготовке древесины с учетом оптимального расстояния вывозки, доводить планы по заготовке лесничествам, что в конечном итоге позволит сократить затраты на вывозку древесины.

### Литература

1. Насковец М. Т., Короленя Р. О. Организация перевозок лесной продукции. Минск: БГТУ, 2014. 102 с.
2. Оптимизация логистики лесозаготовок / А. П. Соколов [и др.] // Resources and Technology. 2012. № 9 (2). С. 117–128.
3. Шаин В. А. Методика для поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины // Resources and Technology. 2018. № 15 (2). С. 59–82.
4. Стороженко С. С. Повышение эффективности транспортно-технологического процесса лесопромышленных предприятий на базе логистико-математических моделей: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. СПб., 2003. 209 с.
5. Яшин А. В. Оптимизация транспортно-технологического процесса лесозаготовительного предприятия: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. СПб., 2009. 204 с.
6. Скрышник В. И., Кузнецов А. В., Баклагин В. Н. Обоснование оптимальных планов заготовки и вывозки леса // Resources and Technology. 2012. № 9 (1). С. 47–49.
7. Толуев Ю. И. Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. М.: Эс-Си-Эм Консалтинг, 2008. № 2 (25). С. 53–63.
8. Толуев Ю. И., Некрасов А. Г., Морозов С. И. Анализ и моделирование материальных потоков в сетях поставок // Интегрированная логистика. 2005. № 5. С. 7–14.
9. Толуев Ю. И. Имитационное моделирование логистических процессов // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. Второй всероссийской науч.-практ. конф. СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2005. № 5. С. 71–76.
10. Толуев Ю. И., Замановская Т. П. Моделирование процессов перемещения и накопления материальных объектов в логистических сетях // Логистика: Современные тенденции развития: тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГИЭУ, 2006. С. 354–359.



11. Nurminen T., Heinonen J. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland // *Silva Fennica*. 2007. Vol. 41 (3). P. 471–487.
12. Антонов А. В. Системный анализ. М.: Высш. шк., 2004. 454 с.
13. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Высш. шк., 2001. 208 с.
14. Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа. СПб.: СПбГТУ, 1997. 510 с.
15. Гайдес М. А. Общая теория систем: системы и системный анализ. Винница: Глобус-Пресс, 2005. 201 с.

### References

1. Naskovets M. T., Korolenya R. O. *Organizatsiya perevozok lesnoy produktsii* [Organization of transportation of forest products studies.-method]. Minsk, BSTU Publ., 2014. 102 p.
2. Sokolov A. P., Syuneyev V. S., Gerasimov Yu. Yu., Kar’yalainen T. Optimization of logistics of forest preparations. *Resources and Technology* [Resources and Technology], 2012, no. 9 (2), pp. 117–128 (In Russian).
3. Shain V. A. Methods to support decision-making on the justification of the choice of the scheme of transport and technological process of international transportation of wood. *Resources and Technology* [Resources and Technology], 2018, no. 15 (2), pp. 59–82 (In Russian).
4. Storozhenko, S. S. *Povysheniye effektivnosti transportno-tekhnologicheskogo protsessa lesopromyshlennykh predpriyatiy na baze logistiko-matematicheskikh modeley. Dis. kand. tekhn. nauk* [Improving the efficiency of transport and technological process of forest-industrial enterprises on the basis of logistics and mathematical models. Cand. Diss.]. St. Petersburg, 2003. 209 p.
5. Yashin A.V. *Optimizatsiya transportno-tekhnologicheskogo processa lesozagotovitel'nogo predpriyatiya. Dis. kand. tekhn. nauk* [Optimization of transport and technological process of logging enterprise. Diss.]. St. Petersburg, 2009, 204 p.
6. Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V., Baklagin V. N. A study of the optimal plans for the harvesting and hauling of wood. *Resources and Technology* [Resources and Technology], 2012, no. 9 (1), pp. 47–49 (In Russian).
7. Toluev Yu. I. Simulation of logistics networks. *Logistika i upravleniye tsepyami postavok* [Logistics and supply chain management], – Moscow, 2008, no. 2 (25), pp. 53–63 (In Russian).
8. Toluyev Yu. I., Nekrasov A. G., Morozov S. I. Analysis and modeling of material flows in supply chains. *Integrirrovannaya logistika* [Integrated logistics], 2005, no. 5, pp. 7–14 (In Russian).
9. Toluyev Yu. I. Simulation of logistics processes. *Sbornik Vtoroy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i praktika”* [Proceedings of the Second all-Russian scientific and practical conference “Simulation. Theory and practice”]. St. Petersburg, 2005, no. 5, pp. 71–76 (In Russian).
10. Toluyev Yu. I., Zamanovskaya T. P. Modelling of transfer processes and accumulation of material objects in the logistic networks. *Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Logistika: Sovremennyye tendentsii razvitiya”* [Theses of the V International scientific and practical conference “Logistics: Modern development trends”]. St. Petersburg, 2006, pp. 354–359 (In Russian).
11. Nurminen T., Heinonen J. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. *Silva Fennica* [Silva Fennica], 2007, vol. 41 (3), pp. 471–487.
12. Antonov A.V. *Systemnyy analiz* [System analysis]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 454 p.
13. Wentzel E. S. *Issledovaniye operatsiy. Zadachi, printsipy, metodologiya* [Operations Research. Tasks, principles, methodology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 208 p.
14. Volkova V. N., Denisov A. A. *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Fundamentals of systems theory and system analysis]. St. Petersburg, SPbGTU Publ., 1997. 510 p.
15. Gaydes M. A. *Obshchaya teoriya sistem i sistemnogo analiza* [General theory of systems: systems and system analysis]. Winnitsa, Globus-Press Publ., 2005. 201 p.

### 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

**Пастушенко Максим Сергеевич** – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

### 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

**Pastushenko Maxim Sergeevich** – Master’s degree student, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 15.05.2019

# ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

---

УДК 630\*231.1:630\*913

**Д. К. Гарбарук, А. В. Углынец, А. Н. Воронцовская**  
Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

## **ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЛЕСА НА ПРОГАЛИНАХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

Одним из способов предотвращения распространения радионуклидов с расположенных в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС бывших сельскохозяйственных земель (прогалин) является создание на них лесных насаждений. По причине высокой радиоактивной загрязненности почв проектируется преимущественно естественное зарастание лесом этих земель.

В первые годы после аварии естественное возобновление леса на прогалинах протекало успешно. Со временем этот процесс замедлился. В настоящее время вне зависимости от насаждений, эдафических условий, площади и конфигурации прогалин зарастание их лесом протекает неудовлетворительно. Этот процесс сдерживают сплошной травяной покров с доминированием видов семейства Злаковые (основной фактор), периодическая сухость верхних слоев почвы, климатические особенности региона, пищевой пресс диких копытных.

Породный состав возобновления древесных пород и их пространственное размещение определяются видовым составом плодоносящих деревьев в примыкающих насаждениях и на прогалинах, эдафическими условиями прогалин, жизнедеятельностью диких копытных, расстоянием до бывших населенных пунктов. Установлено распространение на прогалинах агрессивного чужеродного вида – клена ясенелистного.

В современных условиях создание лесных насаждений на прогалинах возможно лесокультурными методами или путем содействия естественному возобновлению при условии ограничения влияния диких копытных на молодое поколение леса. Требуется разработка мер борьбы с микропопуляциями клена ясенелистного в условиях высокого радиоактивного загрязнения.

**Ключевые слова:** зона отчуждения Чернобыльской АЭС, прогалины, естественное возобновление леса, экологические факторы.

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

## **NATURAL FORESTS REGENERATION ON GLADES OF THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE**

One of the ways to prevent the spread of radionuclides from former agricultural lands (glades) in Chernobyl Exclusion Zone is the creation of forest stands. Due to high radioactive contamination of soils, mainly natural forest overgrowth of these lands is projected.

In the first years after the accident, the natural regeneration of the forest on the glades proceeded successfully. Over time, this process has slowed down. Currently, regardless of the taxon-forestry indices of adjacent stands, the edaphic conditions, size and configuration of the glades overgrowing their forests takes place unsatisfactorily. This process is restrained by a continuous grass cover with the dominance of species of the Cereal family (the main factor), periodic dryness of the upper soil layers, climatic features of the region, the food press of wild ungulates.

The species composition of natural regeneration of tree species and their spatial distribution are determined by the species composition of fruit-bearing trees in the adjacent forest stands and on the glades, the edaphic conditions of the glades, the life activity of wild ungulates, the distance to the former settlements. Set the spread on glades of invasive alien species – ash-leaved maple.

In modern conditions, the creation of forest plantations on the glades is possible by silvicultural methods or by promoting natural regeneration, provided that the impact of wild ungulates on the younger generation of the forest is limited. It is necessary to develop measures to combat micro-populations of ash-leaved maple in conditions of high radioactive contamination.

**Key words:** Chernobyl NPP Exclusion Zone, glades, natural forest regeneration, ecological factors.

**Введение.** Леса являются мощным биологическим барьером вторичного переноса радионуклидов. Поэтому перед Полесским государственным радиационно-экологическим заповедником, созданным в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС в целях предотвращения их распространения, стоит задача максимального залесения загрязненных и выведенных из сельскохозяйственного оборота земель.

Из-за высокой загрязненности радионуклидами бывших сельскохозяйственных или залежных земель (прогалин) применение лесокультурных методов ограничено, поэтому большое значение придается естественному лесовозобновлению леса. На 2013–2022 гг. лесокультурный фонд заповедника составляет 40,3 тыс. га, представленный преимущественно прогалинами (99,8%). На 95,6% их площади возобновление отсутствовало, а на 4,4% – было недостаточным. На этот период под естественное лесозарастивание без мер содействия запланировано 36,9 тыс. га [1]. Очевидно, что ход естественного возобновления на прогалинах зоны отчуждения требует современной оценки.

**Основная часть.** В соответствии с источниками [2–4] на прогалинах закладывались временные пробные площадки (ВПП) не менее 0,5 га каждая. В выделах площадью 3–10 га их количество составляло не менее двух, свыше 10 га – не менее трех. Всего заложено 29 ВПП общей площадью 14,63 га, что составляет 10,8% от общей площади объектов исследований (табл. 1).

Таблица 1

**Расчетная и фактическая площадь ВПП**

Примыкание прогалин к древостою	Общая площадь обследованных прогалин, га	Площадь ВПП, га	
		расчетная	фактическая
Соснякам	26,5	3,0	3,0
Березнякам	40,1	4,5	4,56
Ольсам	50,1	4,0	4,0
Дубравам	18,7	3,0	3,07
<i>Всего</i>	135,4	14,5	14,63

На прогалине определяли эдафотоп (эдафотопы) по источнику [5]. В связи с мозаичностью лесорастительных условий на прогалинах очередность эдафотопов на ВПП в таблицах дается от наиболее распространенного к наименее.

На ВПП производили пересчет деревьев (диаметром 8 см и выше) с определением высоты каждого дерева, сплошной учет подроста по породам с определением высоты, возраста по ТКП [2], поврежденности дикими копытными по источникам [6, 7].

Для живого напочвенного покрова глазомерно в процентах определяли общее проективное

покрытие почвы всеми видами растений, отдельно – видами семейства Злаковые.

Успешность естественного возобновления прогалин древесными породами определяли в соответствии с источниками [3, 8], которое считается удовлетворительным при густоте подроста более 4 тыс. шт./га при средней высоте их 1 м и более.

Успешное лесовосстановление на землях, вышедших из сельскохозяйственного пользования, наблюдается в условиях южной тайги [9, 10] и широколиственно-хвойных лесах России [11], в Белорусском Полесье [12]. Значительно хуже оно протекало на сильно загрязненных радионуклидами землях Беларуси вне зоны отчуждения [13] и в зоне отчуждения Украины [14] через 10–15 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. В то же время в белорусском секторе зоны отчуждения древесные породы плохо возобновлялись даже вблизи стен леса, а на некоторых участках их подрост отсутствовал [15].

Естественное лесовозобновление изучалось на прогалинах, примыкающих к соснякам, березнякам, дубравам и черноольшаникам.

Исследования хода естественного возобновления древесных пород на прогалинах в белорусском секторе зоны отчуждения выполнены через 32 года после аварии на Чернобыльской АЭС.

На прогалинах, примыкающих к соснякам, естественное возобновление древесных пород протекает неудовлетворительно (табл. 2). На сухих песчаных дюнах (А<sub>1</sub>) подрост относительно равномерно распределен по площади. Низкая его густота лимитирована недостатком семенного материала (примыкание прогалины к молодому сосняку) и высокой сухостью почвы, обусловленной повышенным рельефом и несплошным покрытием (60%) песчаной почвы мохово-лишайниковой растительностью.

В условиях с преимущественным распространением эдафотопа А<sub>2</sub> общая густота естественного возобновления составляет 1 тыс. шт./га (ВПП Рд63-20). Преобладает средний и крупный подрост сосны, локализованный у опушки леса, при значительном участии березы и осины, приуроченных к полосе плодоносящих деревьев этих пород. В составе возобновления присутствуют груша и яблоня, занесенные дикими животными, клен ясенелистный и тополь белый, распространившиеся от расположенной в 1 км отселенной деревни. Низкая густота сосны обусловлена недостатком семян, так как примыкающий сосняк начал плодоносить 10–15 лет назад, периодическим подсыханием верхних слоев песчаной почвы в эдафотопе А<sub>2</sub> и сплошным травяным покровом (проективное покрытие 100%) с преобладанием злаков (80%) в эдафотопе В<sub>2</sub>.

Таблица 2

**Возобновление древесных пород на прогалинах, примыкающих к соснякам**

ВПП Тип условий местопроизрастания	Порода	Средние		Густота, шт./га			Доля участия в составе, %	
		возраст, лет	высота, см	общая	по группам высот			
					мелкий	средний		крупный
Тл144-16 А <sub>1</sub>	Сосна обыкновенная	8	61	715	480	185	50	100,0
Рд63-20 А <sub>2</sub> , В <sub>2</sub>	Сосна обыкновенная	9	172	522	32	270	220	50,2
	Осина	6	106	194	20	151	23	18,7
	Береза повислая	7	339	189	11	55	123	18,2
	Груша обыкновенная	6	129	105	12	66	27	10,1
	Ольха черная	6	232	9	–	3	–	0,9
	Яблоня лесная	5	92	8	–	8	–	0,8
	Дуб черешчатый	12	153	7	–	4	3	0,7
	Клен ясенелистный	10	245	3	–	–	3	0,3
	Тополь белый	5	151	1	–	–	1	0,1
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	8	186	1 038	75	557	406	100,0
Тл143-4 В <sub>2</sub>	Сосна обыкновенная	10	543	277	3	18	256	92,6
	Груша обыкновенная	13	186	20	1	10	9	6,7
	Дуб черешчатый	2	11	2	2	–	–	0,7
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	10	516	299	6	28	265	100,0

В условиях В<sub>2</sub> (ВПП Тл143-4) со сплошным разнотравно-злаковым покровом с долей участия злаков 75–100% возобновление древесных пород очень редкое с доминированием крупных экземпляров сосны. Присутствуют груша (0,5 км до отселенной деревни) и единичный самосев дуба.

На примыкающих к березнякам прогалинах естественное возобновление древесных видов неудовлетворительное (табл. 3).

В эдафотопе А<sub>2</sub> (ВПП Нп78-54) распространен преимущественно средний и крупный подрост сосны и березы с единичным участием дуба, груши (1,5 км до отселенной деревни), осины, ольхи черной общей густотой 1 тыс. шт./га. Появлению и развитию возобновления древесных пород способствовали конфигурация прогалины, обеспечившая близость стен леса и затененность почвы на большей ее части, и несплошной (среднее проективное покрытие 75%) живой напочвенный покров из мхов, лишайников и лесных трав с небольшой (до 40%) долей злаков. Сдерживалось возобновление леса сухостью верхних слоев почвы на лишенных живого напочвенного покрова участках и плотными куртинами травостоя с преобладанием злаков.

В более богатых эдафотопях густота возобновления древесных видов уменьшается до 0,4 тыс. шт./га. На ВПП Тл30-16 (В<sub>2</sub>, А<sub>2</sub>) преобладает крупный подрост березы с небольшой примесью осины и сосны, единично встречается дуб, груша и яблоня (1 км до отселенной

деревни). Возобновление приурочено к естественным и искусственным микропонижениям. Прораствание семян и развитие самосева древесных пород здесь тормозится обильным распространением разнотравно-злакового травостоя (проективное покрытие 95%), сухостью верхних слоев почв в летнее время на повышенных участках прогалины (А<sub>2</sub>) с менее развитым травостоем.

На прогалине с богатыми почвами (С<sub>2</sub>, С<sub>3</sub>) и сплошным мощным травостоем, в котором доминируют осоки и злаки (проективное покрытие 95%), возобновление аборигенных лесных лиственных пород и сосны редкое (ВПП Рд63-12). Близость отселенной деревни (0,7 км) обусловило преобладание в подросте груши и яблони, присутствие клена ясенелистного.

Примыкающие к черноольшаникам прогалины характеризуются главным образом свежими эдафотопами с небольшими вкраплениями влажных (табл. 4). Они не вполне соответствуют экологическим требованиям ольхи черной, предпочитающей хорошо обводненные проточные места произрастания в пониженных элементах рельефа [16, 17]. По эдафическим условиям для произрастания ольхи условно пригодна лишь одна прогалина (ВПП Бб1-9), характеризующаяся достаточно высокой трофностью почв (С<sub>2</sub>). Однако возобновление данной породы на ней отсутствует, а на других прогалинах встречается единично.

Таблица 3

## Возобновление древесных пород на прогалинах, примыкающих к березнякам

ВПП Тип условий местопроизрастания	Порода	Средние		Густота, шт./га				Доля участия в составе, %
		возраст, лет	высота, см	общая	по группам высот			
					мелкий	средний	крупный	
Нп78-54 А <sub>2</sub>	Сосна обыкновенная	10	200	549	58	182	309	53,5
	Береза повислая	6	203	420	39	153	228	40,9
	Дуб черешчатый	7	45	30	19	10	1	2,9
	Груша обыкновенная	6	59	15	9	5	1	1,5
	Ольха черная	7	311	9	1	2	6	0,9
	Осина	2	209	3	2	–	1	0,3
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	8	196	1 026	128	352	546	100,0
Тл30-16 В <sub>2</sub> , А <sub>2</sub>	Береза повислая	10	364	337	6	69	262	84,66
	Осина	5	108	18	3	13	2	4,5
	Груша обыкновенная	7	112	17	4	10	3	4,3
	Сосна обыкновенная	8	68	13	2	11	–	3,3
	Дуб черешчатый	8	82	12	3	8	1	3,0
	Яблоня лесная	8	91	1	–	–	1	0,3
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	10	323	398	18	111	269	100,0
Рдб3-12 С <sub>2</sub> , С <sub>3</sub>	Груша обыкновенная	8	152	166	8	98	60	42,2
	Яблоня лесная	11	133	71	3	51	17	18,1
	Дуб черешчатый	5	158	53	5	33	15	13,5
	Осина	7	175	35	1	18	16	8,9
	Ольха черная	21	604	26	–	1	25	6,6
	Береза повислая	11	400	21	–	1	20	5,3
	Клен ясенелистный	7	271	17	–	4	13	4,3
	Сосна обыкновенная	15	110	3	–	3	–	0,8
	Ива белая	4	119	1	–	1	–	0,3
<i>Итого, средневзвешенное</i>	9	199	393	17	210	166	100,0	

Таблица 4

## Возобновление древесных пород на прогалинах, примыкающих к черноольшаникам

ВПП Тип условий местопроизрастания	Порода	Средние		Густота, шт./га				Доля участия в составе, %
		возраст, лет	высота, см	общая	по группам высот			
					мелкий	средний	крупный	
Op32-1 А <sub>2</sub> , В <sub>2-3</sub>	Дуб черешчатый	8	96	150	16	116	18	56,4
	Сосна обыкновенная	7	155	77	11	40	26	28,9
	Груша обыкновенная	11	220	35	4	13	18	13,2
	Береза повислая	10	161	3	–	1	2	1,1
	Ольха черная	34	885	1	–	–	1	0,4
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	8	133	266	31	170	65	100,0
Bc7-53 В <sub>2</sub> , В <sub>3</sub> , А <sub>2</sub>	Груша обыкновенная	7	80	79	21	54	4	44,2
	Береза повислая	9	361	50	1	5	44	27,9
	Ольха черная	7	398	37	1	7	29	20,7
	Яблоня лесная	5	63	11	3	8	–	6,1
	Дуб черешчатый	3	262	2	1	–	1	1,1
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	7	225	179	27	74	78	100,0
Bб1-9 С <sub>2</sub>	Осина	6	93	233	89	120	24	56,2
	Дуб черешчатый	7	58	98	49	45	4	23,7
	Береза повислая	5	323	67	3	17	47	16,2
	Груша обыкновенная	6	111	11	1	9	1	2,7
	Сосна обыкновенная	6	68	3	1	2	–	0,7
	Яблоня лесная	3	65	2	1	1	–	0,5
<i>Итого, средневзвешенное</i>	6	122	414	144	194	76	100,0	

Возобновление других древесных пород также очень редкое и приурочено к стенам леса. Береза, осина и ольха черная большей частью локализованы на пониженных, сосна – на повышенных элементах рельефа, дуб – вблизи плодоносящих материнских деревьев. Расселенные дикими животными груша и яблоня распространены по всей площади прогалин.

Низкая совокупная густота подроста свидетельствует о неудовлетворительном ходе естественного возобновления леса на прогалинах, примыкающих к чернольшаникам. Возобновление на них сдерживается периодической сухостью бедных почв со слабо развитым травяным покровом (проективное покрытие 50–70%) на повышенных элементах рельефа ( $A_2$ ), развитием сплошного плотного травяного покрова с преобладанием осок и злаков (проективное покрытие 80–90%) в условиях  $B_{2-3}$  и  $C_2$ , недостаточным количеством источников семенного материала.

На *примыкающих к внепойменным дубравам прогалинах* густота подроста достигает 1,9–2,3 тыс. шт./га. К этим прогалинам примыкают также насаждения березы, ольхи черной, сосны. Поэтому в составе возобновления преобладает береза (61–77%) при существенной (7–26%) доле дуба. Присутствие осины ограничивается 8–10%, сосны – 2–5% (табл. 5).

Подрост на прогалинах размещен в основном группами. На ВПП Тл102-59 береза чаще встречается в понижениях рельефа ( $B_3$ ), сосна – на повышенных его элементах ( $A_2$ ), дуб – у плодоносящих деревьев. На ВПП Нп9-28 подрост сосредоточен у стен леса и у куртин плодоносящих деревьев. Береза и осина локализованы в основном в условиях  $B_2$ , сосна – в  $A_2$ , дуб распространен по всей прогалине.

На *прогалине, прилегающей к пойменной дубраве* (ВПП Тл101-14), естественное возобновление древесных пород редкое – 0,5 тыс. шт./га. В составе преобладает дуб (78,6%), неравномерно рассеянный по прогалине. Подрост осины и березы сосредоточен у стены леса.

Из-за сплошного травяного покрова, в котором доминируют злаки (более 90% проективного покрытия), ход естественного возобновления леса на примыкающих к дубравам прогалинах неудовлетворительный.

На ряде лесных прогалин присутствуют группы, куртины и отдельные деревья. Разный возраст их свидетельствует о длительном процессе зарастания их лесом. По совокупной густоте древостоя и подроста (табл. 6) естественное возобновление леса на прогалинах в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС в настоящее время оценивается неудовлетворительно.

Вместе с тем на прогалинах встречаются участки (у стен леса или в эдафических

локалитетах) площадью более 0,1 га с общей густотой подроста и древостоя более 4 тыс. шт./га. В соответствии с [3, 8] они могут быть переведены в лесопокрытую площадь.

Ретроспективный анализ показывает, что если за 1990–2001 гг. в заповеднике естественным путем образовались на 12,24 тыс. га лесных насаждений (34,1% планируемой площади и 21,2% площади не покрытых лесом земель), то за 2001–2010 гг. лесом возобновилось 6,87 тыс. га (19,2% площади прогалин и 8,3% площади не покрытых лесом земель) [1]. Это свидетельствует о замедлении хода естественного лесозарастания залежных земель.

Высокие темпы естественного возобновления леса на отчужденных сельскохозяйственных землях в первое время после аварии на Чернобыльской АЭС обусловлены слабым задернением почв, на которых еще не образовались устойчивые разнотравно-злаковые сообщества. В первую очередь зарастали участки залежей вблизи плодоносящих лесных насаждений. Через 15 лет лесовозобновление сдерживалось сильным задернением почв и преобладанием примыкающих к прогалинам слабо- или неплодоносящих насаждений [15].

*Факторы, определяющие естественное возобновление леса на прогалинах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.* В настоящее время на ход естественного возобновления леса на прогалинах негативно влияют плотный сплошной травяной покров с преобладанием злаков и сильная степень задернения почвы, препятствующие появлению всходов и росту самосева древесных пород, периодическая сухость верхних слоев почв на повышенных элементах рельефа со слабо развитым живым напочвенным покровом. Характерные для зоны отчуждения повышенные средние температуры воздуха и частые мощные периодические засухи [18, 19] усиливают глубину и продолжительность высыхания почв. Важное значение для возобновления леса имеет конфигурация прогалин. Установлена малая корреляционная зависимость (коэффициент корреляции  $-0,356$ ) площади прогалины с густотой образовавшегося на ней подроста, указанная в работе [9].

Породный состав плодоносящих деревьев в примыкающих насаждениях и произрастающих на прогалинах, обеспечивающий их семенным материалом, определяет видовой состав естественного возобновления леса и его пространственное размещение.

На прогалинах, примыкающих к соснякам, доля сосны в составе подроста находится в пределах 50–100%, мелколиственных пород – 0–38%, дуба, клена и ясеня – 0–1%, к березнякам – 1–54%, 20–89% и 3–14%, к дубравам – 1–5%, 18–87% и 7–79% соответственно.

Таблица 5

## Возобновление древесных пород на прогалинах, примыкающих к дубравам

ВПП Тип условий местопроизрастания	Порода	Средние		Густота, шт./га			Доля участия в составе, %	
		возраст, лет	высота, см	общая	по группам высот			
					мелкий	средний		крупный
Тл102-59 В <sub>2</sub> , В <sub>3</sub> , А <sub>2</sub>	Береза повислая	7	302	1 437	43	348	1 046	77,1
	Осина	5	64	178	69	105	4	9,5
	Дуб черешчатый	7	57	132	87	35	10	7,1
	Сосна обыкновенная	9	70	99	30	68	1	5,3
	Яблоня лесная	5	48	7	4	3	–	0,4
	Груша обыкновенная	10	140	6	1	4	1	0,3
	Граб обыкновенный	4	31	3	3	–	–	0,2
	Ясень обыкновенный	6	41	2	1	1	–	0,1
	Клен остролистный	2	14	1	1	–	–	0,1
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	7	247	1 865	239	564	1 062	100,0
Нп9-28 С <sub>3</sub> , В <sub>2</sub> , В <sub>3</sub> , А <sub>2</sub>	Береза повислая	8	299	1 391	66	272	1 053	60,6
	Дуб черешчатый	7	49	599	406	178	15	26,1
	Осина	4	131	191	44	101	46	8,3
	Сосна обыкновенная	7	50	44	24	20	–	1,9
	Груша обыкновенная	5	54	40	26	12	2	1,7
	Яблоня лесная	6	78	15	7	6	2	0,7
	Ольха черная	18	433	2	–	–	12	0,5
	Клен ясенелистный	8	392	1	–	–	1	0,1
	Граб обыкновенный	2	24	1	1	–	–	0,1
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	7	209	2 284	574	589	1 131	100,0
Тл101-14 В <sub>3п</sub> , В <sub>2п</sub>	Дуб черешчатый	7	97	378	103	222	53	78,6
	Осина	4	86	75	3	72	–	15,6
	Береза повислая	7	127	13	–	12	1	2,7
	Сосна обыкновенная	9	89	6	3	2	1	1,3
	Яблоня лесная	8	137	4	–	3	1	0,8
	Груша обыкновенная	5	77	3	–	3	–	0,6
	Ясень обыкновенный	4	38	2	2	–	–	0,4
	<i>Итого, средневзвешенное</i>	7	96	481	111	314	56	100,0

Таблица 6

## Обобщенная характеристика возобновления древесных пород на прогалинах

ВПП	Подрост				Древостой			
	состав	количество, шт./га	средняя высота, м	возраст, лет	состав	количество, шт./га	средняя высота, м	полнота
Тл144-16	10С	715	1,7	8	–	–	–	–
Рд63-20	5С2Б2Ос1Гр+Д,Олч,Яб,Кля,Тб	1 038	1,9	8	–	–	–	–
Тл143-4	9С1Гр+Д	299	5,2	10	–	–	–	–
Нп78-54	5С4Б+Д,Гш,Олч,Ос	1 026	2,0	8	7Б3С+Олч,Гш	206	13,6	0,19
Тл30-16	9Б1Ос+Гш,С,Д,Яб	398	3,2	10	–	–	–	–
Рд63-12	4Гш2Яб1Д1Ос1Олч1Б+Кля,Ивб	393	2,0	9	–	–	–	–
Ор32-16	6Д3С1Гш	266	1,3	8	–	–	–	–
Вс7-53	4Гш3Б2Олч1Яб+Д	179	2,3	7	8Олч2Б	65	13,1	0,07
Бб1-9	6Ос2Д2Б	414	1,2	6	3Д5Б2Ос	19	15,0	0,02
Тл102-59	8Б1Ос1Д+С,Яб,Гш,Г,Я,Кл	1 865	2,5	7	9Б1Д+Олч,Гш	193	16,3	0,19
Нп9-28	6Б3Д1Ос+С,Гш,Яб,Олч,Г,Кля	2 284	2,1	7	9Б1Олч+Д,Ос,Гш	174	11,5	0,09
Тл101-14	8Д2Ос+С,Б,Яб,Гш,Я	481	1,0	7	–	–	–	–

Таблица 7

**Поврежденность наиболее распространенных пород подроста дикими копытными, %**

Порода	Не повреждено	Повреждено			Погибло	
		всего, в т. ч.	до 10%	11–50%		51–90%
Береза повислая	57,3	38,9	17,2	10,9	10,8	3,8
Сосна обыкновенная	25,6	70,6	6,7	14,8	49,1	3,8
Дуб черешчатый	46,7	52,4	7,4	18,8	26,2	0,9
Клен ясенелистный	44,5	51,8	11,1	22,2	18,5	3,7
Осина	37,6	43,1	5,1	15,4	22,6	19,3
Груша обыкновенная	34,6	64,0	20,4	21,2	22,4	1,4
Яблоня лесная	21,8	78,2	16,4	22,1	39,7	0
Ольха черная	82,1	16,9	9,4	4,7	2,8	1,0

Встречающиеся в составе возобновления груша и яблоня, участие которых на отдельных прогалинах достигает 20–40%, расселены животными, прежде всего диким кабаном. Особо отметим, что на 25% прогалин встречается агрессивный чужеродный вид – клен ясенелистный.

Видовой состав подроста и его пространственное размещение на прогалинах в значительной мере определяются эдафотопами и их мозаичностью.

Полученные выводы согласуются с исследованиями других авторов [9–15].

Негативное влияние на состояние подроста на прогалинах зоны отчуждения оказывают дикие копытные, прежде всего лось (средняя плотность 10 особей/1000 га), олень (5 особей/1000 га), зубр (до 3,6 особей/1000 га) в районе обитания. Ими повреждено от 17% до 78% растений подроста, в том числе в сильной степени – от 3% до 50%. Наиболее сильно страдает от диких копытных возобновление сосны обыкновенной, яблони лесной, дуба черешчатого, осины, груши обыкновенной. До 20% подроста осины погибает (табл. 7).

Основным фактором, тормозящим ход естественного возобновления леса на лесных прогалинах зоны отчуждения, является развитие сплошного устойчивого травяного покрова. Доказано [13], что положительно влияет на процесс облесения прогалин содействие естественному возобновлению леса путем минерализации почвы.

**Заключение.** В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, в пределах которой функционирует Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, в целях создания биологического барьера вторичному переносу радионуклидов важное значение придается лесозарастиванию залежных земель. В силу радиационного фактора основная их часть проектировалась под естественное лесовозобновление.

В первые годы после отчуждения сельскохозяйственных земель благодаря слабому

задернению почв естественное возобновление леса на них протекало довольно успешно, концентрируясь у насаждений плодоносящих лесобразующих пород. Со временем этот процесс замедлился.

В настоящее время вне зависимости от формационного состава и таксационных характеристик примыкающих насаждений, эдафотопы, площади и конфигурации выдела зарастание лесом прогалин протекает неудовлетворительно. Естественное возобновление на них сдерживают плотный устойчивый разнотравно-злаковый травяной покров с доминированием злаков и сильное задернение почвы, периодическая сухость верхних слоев почв, усиливаемая характерными для региона частыми мощными периодическими засухами, влияние диких копытных.

Состав естественного возобновления на прогалинах определяется видовым составом плодоносящих деревьев в примыкающих насаждениях и растущих на прогалинах, эдафическими условиями прогалин, жизнедеятельностью диких копытных, расстоянием до отселенных деревьев.

Участки древостоя и подроста густотой более 4 тыс. шт./га и площадью 0,1 га и более на прогалинах при очередном туре лесоустройства заповедника можно перевести в покрытые лесом земли.

Большая часть прогалин может быть залесена только с применением методов искусственного лесовосстановления или содействия естественному возобновлению леса путем периодической минерализации почвы у стен леса. При этом серьезное внимание должно быть уделено мероприятиям по ограничению влияния на создаваемые насаждения диких копытных.

Необходимо выполнение комплекса работ с целью выявления и оценки микропопуляций клена ясенелистного на прогалинах, разработки и осуществления мер по борьбе с ним в условиях высокого радиоактивного загрязнения экосистем.



### Литература

1. Кудин М. В., Шумак С. В. Лесокультурный фонд зоны отчуждения и его освоение за пост-чернобыльский период // Труды Института леса. Вып. 77: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2017. С. 205–220.
2. Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь: ТКП 047-2009 (02080). Введ. 15.08.09. Минск: М-во лесного хозяйства Респ. Беларусь, 2009. 105 с.
3. Об утверждении Инструкции о порядке организации и содержании лесостроительных работ, составе лесостроительной документации и авторском надзоре за реализацией лесостроительных проектов: постановление М-ва лесного хозяйства Респ. Беларусь, 30 июня 2017 г., № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <http://www.zakon.by/document/?guid=12551&p0=W21832881&p1=1> (дата обращения: 24.09.2018).
4. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь: ТКП 622-2018 (33090). Введ. 12.07.2018. Минск: М-во лесного хозяйства Респ. Беларусь, 2018. 96 с.
5. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / В. Ф. Багинский [и др.]. М.: ЦБНТИ, 1984. 308 с.
6. Дунин В. Ф., Янушко А. Д. Оценка кормовой базы лося в лесных угодьях. Минск: Ураджай, 1979. 95 с.
7. Романов В. С., Козло П. Г., Падайга В. И. Охотоведение. Минск: Тесей, 2005. 448 с.
8. О некоторых вопросах воспроизводства лесов в области лесовосстановления и лесоразведения: постановление М-ва лесного хозяйства Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 80 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578&p1=1> (дата обращения: 24.09.2018).
9. Новоселова Н. Н. Формирование лесных насаждений на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного использования, в таежной зоне Пермского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2007. 22 с.
10. Богданова Н. В. Особенности восстановления лесных фитоценозов на землях, вышедших из сельскохозяйственного использования в условиях Среднего Предуралья (на примере Удмуртской Республики) // Лесные ресурсы – Белорусское Полесье: материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых. Гомель, 24–27 сент. 2018 г. Гомель, 2018. С. 5–8.
11. Залесов С. В., Магасумова А. Г., Юровских Е. В. Зарастание бывших сельскохозяйственных угодий в Слободо-Туринском районе Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2010. № 1 (35). С. 14–23.
12. Потапенко А. М., Федоренко О. Н., Серенкова В. А. Особенности естественного возобновления древесно-кустарниковых пород на выведенных из оборота сельхозугодьях Гомельской и Брестской областей // Труды БГТУ. 2014. № 1 (165): Лесное хозяйство. С. 85–87.
13. Волович П. И., Исайчиков М. Ф., Козлов А. К. Возобновление древесно-кустарниковых пород на загрязненных радионуклидами землях бывших агроценозов // Труды Института леса. Вып. 55: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2002. С. 5–16.
14. Петров М. Ф. Особенности лесовозобновления на залежах и лугах Чернобыльской зоны отчуждения // Труды Института леса. Вып. 63: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2005. С. 230–232.
15. Матусов Г. Д., Сечко А. В. Оценка естественного возобновления лесной растительности на территориях зоны отчуждения, вышедших из хозяйственного пользования // Труды Полесского государственного радиационно-экологического заповедника: 20 лет после чернобыльской катастрофы. Гомель, 2006. С. 146–150.
16. Юркевич И. Д., Гельтман В. С., Ловчий Н. Ф. Типы и ассоциации черноольховых лесов (По исследованиям в БССР). Минск: Наука и техника, 1968. 376 с.
17. Иванов А. Ф. Биология древесных растений. Минск: Наука и техника, 1975. 264 с.
18. Изменение климата и водных ресурсов на территории Полесья / В. И. Мельник [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г.: в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. Минск, 2016. Т. 1. С. 399–403.
19. Марченко Ю. Д. Погодно-климатические условия в ближней зоне Чернобыльской АЭС // Эко-системы и радиация: аспекты существования и развития: сб. науч. тр. Минск: Ин-т радиологии, 2013. С. 32–45.

## References

1. Kudin M. V., Shumak S. V. Forest resources of the exclusion zone and their development in post-chernobyl period. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2017, issue 77: Problems of Forest Science and Forestry, pp. 205–220 (In Russian).
2. ТКР 047-2009 (02080). Steady forest management and forest exploitation. Manual on reforestation and afforestation in the Republic of Belarus. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2009. 105 p. (In Russian).
3. *Instruktsiya o poryadke organizatsii i sodержaniya lesoustroitel'nykh rabot, sostave lesoustroitel'noy dokumentatsii i avtorskom nadzore za realizatsiey lesoustroitel'nykh proyektov* [The instruction about the order of the organization and the maintenance of forest management works, structure of forest management documentation and author's supervision of implementation of forest management projects]. Available at: <http://www.zakon.by/document/?guid=12551&p0=W21832881&p1=1> (accessed 24.09.2018).
4. ТКР 622-2018 (33090) Technical requirements in forest management. The allocation and inventory of cutting areas in conducting forest management activities in the forests of the Republic of Belarus. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2018. 96 p. (In Russian).
5. Baginski V. F. [et al.]. *Normativnyye materialy dlya taksatsii lesa Belorusskoy SSR* [Normative materials for forest inventory of the Belarusian SSR]. Moscow, TsBNTI Publ., 1984. 308 p.
6. Dunin V. F., Yanushko A. D. *Otsenka kormovoy bazy losya v lesnykh ugod'yakh* [Assessment of the forage base for elk on forest land]. Minsk, Uradzhay Publ., 1979. 95 p.
7. Romanov V. S., Kozlo P. G., Padayga V. I. *Okhotovedeniye* [Hunting]. Minsk, Tesey Publ., 2005. 448 p.
8. *O nekotorykh voprosakh vosproizvodstva lesov v oblasti lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya* [About some questions of reproduction of the woods in the field of reforestation and afforestation]. Available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578&p1=1> (accessed 24.09.2018).
9. Novoselova N. N. *Formirovaniye lesnykh nasazhdeniy na zemlyakh, vyshedshikh iz-pod sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya, v tayezhnoy zone Permskogo kraya. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Formation of forest plantations on the lands that came out of agricultural use in the taiga zone of the Perm region. Abstract of thesis cand. of agrikul't. sci.]. Ekaterinburg, 2007. 22 p.
10. Bogdanova N. V. Features of restoration of forest phytocenoses on the lands excluded from agricultural use of the Middle Urals (on the example of the Udmurt Republic). *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh "Lesnyye resursy – Belorusskoye Poles'ye"* [Materials of the International Scientific Conference of young scientists "Forest resources – Belarusian Polesie"]. Gomel, 2018, pp. 5–8 (In Russian).
11. Zalesov S. V., Magasumova A. G., Yurovskikh E. V. Regeneration of former agricultural lands in Slobodo-Turinsky district of Sverdlovsk region. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Russian forests and their economy], 2010, no. 1 (35), pp. 14–23 (In Russian).
12. Potapenko A. M., Fedorenko O. N., Serenkova V. A. Features of natural renewal of trees and shrubs on the farmland of Gomel and Brest regions withdrawn from circulation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1 (165): Forestry, pp. 85–87 (In Russian).
13. Volovich P. I., Isaychikov M. F., Kozlov A. K. Regeneration of tree and shrub species on the contaminated lands of the former agriculture. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2002, issue 55: Problems of Forest Science and Forestry, pp. 5–16 (In Russian).
14. Petrov M. F. Features of forest regeneration on fallow lands and meadows of the Chernobyl exclusion zone. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2005, issue 63: Problems of Forest Science and Forestry, pp. 230–232 (In Russian).
15. Matusov G. D., Sechko A. V. Assessment of natural regeneration of forest vegetation in the exclusion zone areas that have come out of economic use. *Trudy Poles'skogo gosudarstvennogo radiatsionno-ekologicheskogo zapovednika: 20 let posle chernobyl'skoy katastrofy* [Works of Poles'sky State Radiation and Ecological Reserve: 20 years after the Chernobyl disaster], 2006, pp. 146–150 (In Russian).
16. Yurkevich I. D., Gel'tman V. S., Lovchiy N. F. *Tipy i assotsiatsii chernool'khovykh lesov (Po issledovaniyam v BSSR)* [Types and associations of black alder forests (Following the BSSR research)]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1968. 376 p.
17. Ivanov A. F. *Biologiya drevesnykh rasteniy* [Biology of woody plants]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1975. 264 p.
18. Mel'nik V. I., Komarovskaya Ye. V., Partasenok I. S., Kravtsova S. M. Climate and water resources changes on the territory of Polesia. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov i ustoychivoye razvitiye Poles'ya"* [Papers of the

International Scientific Conference “Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesie”], Minsk, 2016, vol. 1, pp. 399–403 (In Russian).

19. Marchenko Yu. D. Weather-climate conditions in the near zone of Chernobyl NPP. *Ekosistemy i radiatsiya: aspekty sushchestvovaniya i razvitiya* [Ecosystems and radiation: aspects of existence and development]. Minsk, 2013, pp. 32–45 (In Russian).

#### **Информация об авторах**

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

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

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

#### **Information about the authors**

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

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

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

*Поступила 30.03.2019*

УДК 630\*182.4; 630\*161.32

**Г. Я. Климчик, О. Г. Бельчина**

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ  
ЛЕСНОГО ФИТОЦЕНОЗА ДЛЯ РАСЧЕТА УГЛЕРОДНЫХ ПОТОКОВ**

Леса нашей республики имеют мировое значение в сокращении выбросов парниковых газов и связывании диоксида углерода. В наибольшей степени увеличение депонирования углерода зависит от состояния лесов, их возрастной структуры, продуктивности и биоразнообразия в целом.

В статье рассмотрены материалы научных исследований современных ученых о возможности депонирования диоксида углерода различными компонентами насаждения, а также порубочными остатками, образующимися при рубке леса. Приведены методики изучения нижних ярусов лесной растительности (подрост, подлесок, живой напочвенный покров, лесная подстилка).

Разработаны шкалы содержания углерода в живом напочвенном покрове в зависимости от проективного покрытия, в подстилке в зависимости от мощности горизонта, в подросте и подлеске лесного насаждения как зависимость количественного показателя от биомассы сухого вещества. Данные разработки будут использованы при проведении лесохозяйственных мероприятий, таких как рубки главного и промежуточного пользования, лесовосстановления, в ходе лесоустроительных работ, при проектировании и обосновании выбора способа осуществления этих мероприятий.

**Ключевые слова:** компоненты насаждения, фитомасса, живой напочвенный покров, лесная подстилка, порубочные остатки, углероддепонирование.

**G. Ya. Klimchik, O. G. Belchyna**

Belarusian State Technological University

**RESEARCH METHODOLOGY OF DIFFERENT COMPONENTS  
FOREST PHYTOCENOSIS FOR CALCULATION OF CARBON FLOWS**

The forests of our republic play a global role in reducing greenhouse gas emissions and carbon dioxide sequestration. The greatest increase in carbon sequestration depends on the state of the forests, their age structure and productivity, and biodiversity as a whole.

The article discusses the materials of scientific studies of modern scientists about the possibility of the deposition of carbon dioxide by various components of plantings, as well as logging residues generated during the cutting of forest. The methods of studying the lower tiers of forest vegetation (undergrowth, undergrowth, living ground cover, forest litter) are presented.

Developed scales of carbon content in the living ground cover, depending on the projective cover, in the litter depending on the thickness of the horizon, in the undergrowth and undergrowth of the forest plantation as a dependence of the quantitative indicator on the biomass of dry matter. These developments will be used during forest management activities, such as main and intermediate cutting, reforestation, in the course of forest management activities in the design and justification of the choice of the method of forest management activities.

**Key words:** vegetation components, phytomass, living ground soil, forest litter, forest residues, carbon deposition.

**Введение.** Флора – динамичное явление в природе, в ней, как развивающейся системе, присутствуют динамические процессы эволюции видов, популяций и сообществ. Поэтому флористические исследования должны осуществляться постоянно, с периодическим обобщением материалов в виде сводок, статей, монографий и т. д., имеющих важное не только научное, но и народнохозяйственное значение [1, 2].

Осознание важности лесов Беларуси, как части общей флоры, занимающих значительную территорию республики, предполагает дальнейшее совершенствование методов и методик

ведения исследований состояния лесов, более тесное сотрудничество с отраслевой, академической наукой и другими родственными организациями [3].

Исследования сотрудников Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси показывают [4], что наиболее значимая, планетарная роль лесных насаждений заключается в их возможности депонировать диоксид углерода и производить атомарный кислород. При этом важнейшим является связывание CO<sub>2</sub>. Дефицит кислорода человеку пока не грозит, хотя его выделение находится в тесной корреляции с поглощением

углекислого газа. Но с последним связаны тепловые изменения на планете. Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере за последние 50 лет составило 25%. В связи с тем, что изменение климата стало мировой проблемой, всеми странами принимаются меры по увеличению депонирования диоксида углерода. Беларусь активно участвует в мероприятиях по сокращению выброса парниковых газов и связыванию диоксида углерода растительностью. В наибольшей степени это зависит от наличия лесов, их возрастной структуры и продуктивности [5]. Поэтому при организации лесопользования необходимо учитывать не только запасы древесины, объемы депонированного углерода в древостое, но и биологическую массу других компонентов насаждения и объемы депонированного в них углерода.

Содержание углерода в лесном насаждении устанавливается в разрезе его компонентов: древесной + подрост + подлесок + живой напочвенный покров + лесная подстилка + мертвая древесина (валежник, сухостой). Одним из наиболее важных показателей продуктивности лесов является древесный прирост. В общем приросте фитомассы в лесу наиболее значительная доля приходится на прирост стволовой древесины [5, 6]. Углерод древостоя устанавливается как сумма его содержания в стволовой древесине, сучьях, ветвях, листьях (хвое) и корнях. Основой расчета является древесный запас (стволовая древесина) и определенное от стволовой древесины участие фракций древостоя: сучьев, ветвей, листьев и корней. Для преобладающих лесобразующих пород установлены масса в сухом состоянии отдельных фракций древостоя и долевое содержание углерода в сухой фитомассе [7].

Определение удельного веса порубочных остатков, образующихся при рубке леса, и лесоводственно-экологического обоснования использования биомассы лесосечных отходов в насаждениях основных лесобразующих пород рассмотрено в работах белорусских ученых [8, 9].

Напочвенная растительность является главным компонентом лесной экосистемы, поскольку содержит большую часть общего лесного биоразнообразия, играет роль в круговороте воды и питательных веществ и взаимодействует с другими биотическими компонентами. Таким образом, исследования динамики растительности позволяют получить информацию об изменениях других переменных лесной экосистемы [3].

Нижние ярусы растительности (травы, кустарнички, полукустарнички, мхи, лишайники) лесных фитоценозов представляют собой очень важные структурные и энергетические части, играющие значительную роль в процессах обмена веществ и энергии в биогеоценологических

системах. Значение яруса превосходит его долевые количественные показатели. Доля травяного покрова в общей фитомассе может составлять по разным данным от 1 до 3–5%, а в общем годичном приросте органического вещества его вклад способен достигать уже 9–20% [10].

Живой напочвенный покров как компонент лесного насаждения служит индикатором леса и условий его местопроизрастания.

**Основная часть.** К напочвенному покрову принято относить не только травянистую растительность, но и полукустарничковые и кустарничковые растения, мхи, лишайники и грибы, которые обычно образуют единый ярус и практически трудно делимы, хотя представлены различными жизненными формами. Живой напочвенный покров играет важную роль в жизни лесного фитоценоза. От степени развития подпологовой растительности во многом зависят количество задержанных при снеготаянии осадков, противозерозионные свойства почв и микроклимат в приземных слоях воздуха. Вместе с тем неопределима роль растений травяно-кустарничкового яруса как источника питания многочисленного животного мира лесных биосистем. Многие лесные растения служат источником сырья для различных отраслей народного хозяйства.

Численность, степень покрытия и разрастание напочвенного покрова в лесу оказывают влияние на успешное формирование естественного возобновления леса [11].

Важнейшими признаками живого напочвенного покрова являются: видовой состав растений, встречаемость, проективное покрытие, множество, соотношения между ними (количественные и качественные), ярусность и др.

Видовой состав – наиболее важный признак живого напочвенного покрова, поэтому при описании следует учитывать, по возможности, все виды. Работу начинают с составления списка видов, в который заносят все их названия на пробной площади. Описание состава живого напочвенного покрова рекомендуют проводить по методике А. Г. Воронова [12]. Список растений составляют по жизненным формам: сначала кустики, затем полукустики, многолетние травы, однолетние травы, мхи, лишайники. Таким образом, определяется флористическое богатство – количество видов, которые входят в состав напочвенного покрова фитоценоза. Равномерность размещения видов на пробной площади характеризуется понятием встречаемости вида. Общепринятым для определения встречаемости является метод Раункиера, т. е. закладка в пределах пробной площади учетных площадок в количестве 20 шт. размером 1 м<sup>2</sup>. Учетные площадки размещаются по диагонали, рядами или в шахматном порядке в зависимости от конфигурации обследуемого

участка, при этом соблюдается заранее рассчитанное расстояние между площадками в рядах и между рядами [12, 13, 14].

На каждой из учетных площадок регистрируют все виды растений, после чего для каждого вида вычисляют коэффициент его встречаемости, который представляет собой процентное отношение числа площадок, где встречается данный вид, к общему числу всех площадок.

Множеством называют количество экземпляров какого-нибудь вида в пределах пробной площади. Такая количественная оценка нередко бывает трудоемкой, поэтому применяют методы косвенного учета, при которых оценивается не само множество вида, а какая-нибудь его особенность.

Одним из косвенных методов учета множества является определение проективного покрытия. Проективное покрытие – это процент площади, покрываемой проекциями надземных частей растений. На практике проективное покрытие определяется визуально и выражается в процентах.

Очень часто с косвенными методами совмещают визуальные, которые дополняют друг друга. Примером может служить шкала О. Друде, которая широко применяется при описании живого напочвенного покрова. Эту шкалу можно совместить со шкалой П. Д. Ярошенко, которая дает представление о количестве экземпляров каждого вида на занимаемой им площади.

По встречаемости и проективному покрытию может быть оценено множество видов в весовом количестве (кг (т) на 1 м<sup>2</sup> или на 1 га) для мохово-лишайникового, травяно-кустарничкового ярусов.

Для учета углеродных потоков нами предлагается дополнить эту шкалу весовыми показателями. Для определения весовых показателей нами использованы собственные исследования и исследования белорусских и российских ученых (табл. 1) [15, 16, 17].

Накопление органического углерода в лесной подстилке и его долевое содержание предусмотрено определять через ее массу в абсолютно сухом состоянии. Для установления в насаждении массы лесной подстилки, приходящейся на единицу площади, были использованы данные из литературных источников и материалов пробных площадей, заложённых сотрудниками кафедры лесоводства.

Для характеристики массы лесной подстилки и содержания углерода в ней при разработке шкалы использовались результаты исследований пирологической характеристики лесных горючих материалов В. Г. Нестерова, Л. А. Молчанова, И. В. Гуняженки, Н. П. Курбатского, И. Э. Рихтера, В. В. Усени, Г. Я. Климчика и др. (табл. 2) [18–22].

Оценка естественного возобновления, подраста и подлеска осуществляется согласно ТКП 622-2018 (33090) [23].

Таблица 1

**Содержание углерода (т/га) в живом напочвенном покрове в зависимости от проективного покрытия**

Множество по Друде	Проективное покрытие по П. Д. Ярошенко, %	Травянистый ярус		Мохово-лишайниковый	
		запас, т/га	тС/га	масса, т/га	тС/га
Soc (sociales) растения смыкаются надземными частями, образуя фон	более 90	6,4	3,2	3,8	1,9
Cop <sub>3</sub> (copiosae <sub>3</sub> ) растения встречаются в большом количестве	90–70	3,8–5,9	2,43	2,9–3,2	1,53
Cop <sub>2</sub> (copiosae <sub>2</sub> ) очень много	70–50	1,9–4,1	1,50	1,2–3,0	1,05
Cop <sub>1</sub> (copiosae <sub>1</sub> ) довольно много	50–30	0,5–2,1	0,65	0,5–1,8	0,56
Sp (spalsae) растения встречаются в небольшом количестве	30–10	0,1–1,2	0,33	0,1–0,7	0,2
Sol (solitariae) редкие экземпляры	менее 10	0,01–0,2	0,05	0,02–0,2	0,05
Un (unicum) вид найден в единичном экземпляре	единично	–	–	–	–

Таблица 2

**Содержание углерода в подстилке в зависимости от мощности горизонта**

Мощность, см	Запас, кг/м <sup>2</sup>	Средний запас, т/га	Содержание углерода, тС/га
1–2	1,0–1,6	13,0	5,86
3–5	3,1–5,3	42,0	19,36
5–15	6,2–10,3	82,5	38,03
>15	10,5–30,0	402,5	185,55

Содержание углерода в подросте и подлеске лесного насаждения

Подрост	Количество, тыс. шт./га	Биомасса сухого вещества, т/га	Среднее значение биомассы сухого вещества, т/га	Содержание углерода тС/га
Очень редкий	<1,0	до 0,5	0,5	0,25
Редкий	1,0	0,6–1,7	1,15	0,58
Средний	1,5	1,5–7,6	4,55	2,09
Густой	2,0	3,8–22,6	13,2	6,60
Очень густой	>13	15,5–81	47,25	23,62

Для характеристики естественного возобновления, подрост и подлесок закладывают учетные площадки. При характеристике пород указывают видовой состав, численность каждого вида, среднюю и максимальную высоту и жизнеспособность. Далеко не всегда ярус подлеска в лесах хорошо развит. Чаще он представлен отдельными фрагментами, а при единичном произрастании кустарников практически не выражен. Степень развития подлесочного яруса следует оговаривать.

При обследовании возобновления леса, подрост и подлесок определяются количественные и качественные показатели. Для его учета производится закладка учетных площадок. Обследование проводится глазомерно (визуально).

Породный состав самосева, подрост и подлесок устанавливается по соотношению количества стволов составляющих пород [24].

Для практического использования оценки подлеска и подрост в процессе депонирования

углерода нами предлагается следующая шкала (табл. 3).

Материалы обследования естественного возобновления подрост и подлесок также используются для оценки процессов лесовосстановления и проектирования видов рубок леса.

**Заключение.** Разработанная методология проведения работ по оценке депонированного углерода в биомассе компонентов лесного насаждения позволит получить необходимые данные о любом участке лесного фонда республики: отдельном таксационном выделе, лесничестве, лесхозе и т. д.

Эта информация важна для лесохозяйственных организаций в части выбора способов выполнения лесохозяйственных мероприятий, в том числе рубок главного и промежуточного пользования, лесовосстановления, а также для лесоустроительных организаций при проектировании и обосновании выбора способа проведения лесохозяйственных мероприятий.

### Литература

1. Парфенов В. И., Голод Д. С. Лесные ресурсы Беларуси и вопросы их рационального использования // Природные ресурсы. 1998. № 1. С. 41–45.
2. Парфенов В. И. Современная антропогенная динамика флоры: к проблеме мониторинга инвазии чужеродных видов // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 22–26 сентября 2008 г. Минск: Право и экономика, 2008. С. 82–83.
3. Кулагин А. П., Кузьменков М. В., Красовский В. Л. Мониторинг состояния лесов в Беларуси // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы науч. конф., Минск, 22–26 сентября 2008 г. Минск: Право и экономика, 2008. С. 179–181.
4. Программа адаптации лесного хозяйства к изменению климата на период до 2050 года. Минск: Минлесхоз Республики Беларусь: Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, 2000. 150 с.
5. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Запас депонированного углерода как организационный элемент экологизированного лесопользования // Труды БГТУ. 2018. № 2 (210): Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 37–43.
6. Рожков Л. Н., Ермаков В. Е., Ловчий Н. Ф. Динамика и состояние сосновых лесов Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. 2005. Вып. XIII. С. 7–13.
7. Методика оценки общего и годовичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь: утв. и введ. в действие приказом Минлесхоза Республики Беларусь от 28.03.2011 № 81 / Л. Н. Рожков [и др.]. Минск: БГТУ: ЛРУП «Белгослес», 2011. 19 с.
8. Шатравко В. Г., Толкачева Н. В. Исследование объемов порубочных остатков, при рубках главного и промежуточного пользования в хвойных и широколиственных лесах // Труды БГТУ. 2011. № 1: Лесное хоз-во. С. 119–122.
9. Янушко А. Д., Зорин В. П., Шалимо П. В. Перспективы использования отходов лесозаготовок и деревообработки в лесном хозяйстве. Минск: БелНИИТИ, 1989. 42 с.
10. Беленец Ю. Е., Корбин Н. Ю., Смирнов Е. Г. Динамика фитомассы живого напочвенного покрова, содержание и запасы питательных элементов на фоне применения различных видов, сочетаний и доз минеральных удобрений в лесных культурах ели и сосны 20-летнего возраста // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова. Минск: ИООО «Право и экономика», 2003. С. 109–111.

11. Юшкевич М. В., Шинтар Д. А. Естественное возобновление хвойных древостоев на сплошных вырубках. Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновляемых лесных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 4–6 окт. 2018 г. Воронеж: ВГЛТУ, 2018. С. 123–129.
12. Воронов А. Г. Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.
13. Федорук А. Т. Ботаническая география. Полевая практика. Минск: Изд-во БГУ, 1976. 224 с.
14. Алехин В. В., Сырейщиков Д. П. Методика полевых исследований. Вологда: Северный печатник, 1926. 80 с.
15. Рихтер И. Э., Бахур О. В., Климчик Г. Я. Депонирование углерода в напочвенном покрове сосновых насаждений // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. 2006. Вып. XIV. С. 130–131.
16. Бойко А. В. Эколого-фитоценотические исследования лесной растительности Налибокской пушчи. Минск: Наука и техника, 1983. 208 с.
17. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 276 с.
18. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИДСО АН СССР, 1970. С. 5–58.
19. Гуняженко Н. В. Изменения микрофлоры лесных почв в результате действия огня разной интенсивности // Лесоведение и лесное хозяйство. Минск: Выш. шк., 1970. Вып. 3. С. 175–181.
20. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси 2002, 206 с.
21. Климчик Г. Я., Рихтер И. Э., Бахур О. В. Потери органического вещества и азота в сосновых молодняках при различной интенсивности низовых пожаров // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. 2005. Вып. XIII. С. 55–57.
22. Климчик Г. Я., Рихтер И. Э., Шалимо П. В. Влияние лесных пожаров на лесные биогеоценозы. Минск: Воссамедиа, 2009. 40 с.
23. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь: ТКП 622-2018 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2018. 96 с.
24. Инструкция по сохранению подроста и молодняка хозяйственно ценных пород при разработке лесосек и приемке от лесозаготовителей вырубок с проведенными мероприятиями по восстановлению леса: утв. приказом Гослесхоза СССР от 8 декабря 1983 г. № 147. Минск, 1983. 8 с.

### References

1. Parfenov V. I., Golod D. S. Forest resources of Belarus and the issues of their rational use. *Prirodnyye resursy* [Natural resources], 1998, no. 1, pp. 41–45 (In Russian).
2. Parfenov V. I. Modern anthropogenic flora dynamics: to the problem of monitoring invasion of alien species. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira"* [Materials of the International Scientific Conference "Monitoring and assessment of the state of the plant world"]. Minsk, 2008, pp. 82–83 (In Russian).
3. Kulagin A. P., Kuz'menkov M. V., Krasovskiy V. L. Monitoring of forest condition in Belarus. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira"* [Materials of the International Scientific Conference "Monitoring and assessment of the state of the plant world"]. Minsk, 2008, pp. 179–181 (In Russian).
4. *Programma adaptatsii lesnogo khozyaystva k izmeneniyu klimata na period do 2050 goda* [The program of adaptation of forestry to climate change for the period up to 2050]. Minsk, Minleskhoz Respubliki Belarus': Institut eksperimental'noy botaniki Publ., 2000. 150 p.
5. Baginski V. F., Lapitskaya O. V. Stock of carbon deposited as an organizational element of green forest management. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2018, no 2: Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, pp. 37–43 (In Russian).
6. Rozhkov L. N., Yermakov V. Ye., Lovchiy A. F. Dynamics and state of pine forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2005, issue XIII, pp. 7–13 (In Russian).
7. Rozhkov L. N., Kuz'menkov M. V., Krasovskiy V. L., Abramovich M. Yu. *Metodika otsenki obshchego i godichnogo deponirovaniya ugleroda lesami Respubliki Belarus'* [Methods of assessing the total and annual carbon deposition in the Republic of Belarus]. Minsk, BGTU: LRUP "Belgosles" Publ., 2011. 19 p.
8. Shatravko V. G., Tolkacheva N. V. Investigation of the volume of logging residues in the logging of main and intermediate use in coniferous and deciduous forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 1: Forestry, pp. 119–122 (In Russian).
9. Yanushko A. D., Zorin V. P., Shalimo P. V. *Perspektivy ispol'zovaniya otkhodov lesozagotovok i derevoobrabotki v lesnom khozyaystve* [Prospects for the use of waste logging and wood-working in forestry]. Minsk, BelNIINTI Publ., 1989. 42 p.



10. Belenets Yu. Ye., Korbin N. Yu., Smirnov Ye. G. The dynamics of the phytomass of the living ground cover, the content and reserves of nutrients against the background of the use of various species, combinations and doses of mineral fertilizers in forest cultures of 20-year-old spruce and pine. *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo pokrova* [Monitoring and assessment of flora]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2003, pp. 109–111.

11. Yushkevich M. V., Shintar D. A. Natural renewal of coniferous stands on continuous clearings. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologicheskiye i biologicheskiye osnovy povysheniya produktivnosti i ustoychivosti prirodnykh i isskustvenno vozobnovlyayemykh lesnykh ekosistem"* [Materials of the International scientific and practical conference "Ecological and biological bases for increasing the productivity and sustainability of natural and artificially renewable forest ecosystems"]. Voronezh, 2018, pp. 123–129 (In Russian).

12. Voronov A. G. *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973. 384 p.

13. Fedoruk A. T. *Botanicheskaya geografiya. Polevaya praktika* [Botanical geography. Field practice]. Minsk, BGU Publ., 1976. 224 p.

14. Alekhin V. V., Syreyshchikov D. P. *Metodika polevykh issledovaniy* [Field research methodology]. Vologda, Severnyy pechatnik Publ., 1926. 80 p.

15. Rikhter I. E., Bakhur O. V., Klimchik G. Ya. Carbon sequestration in the ground cover of pine plantations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2006, issue XIV, pp. 130–131 (In Russian).

16. Boyko A. V. *Ekologo-fitotsenoticheskiye issledovaniya lesnoy rastitel'nosti Nalibokskoy pushchi* [Ecological and phytocenotic studies of the forest vegetation of Nalibokskaya Forest]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1983. 208 p.

17. Molchanov A. A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [Productivity of organic matter in forests of various zones]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 276 p.

18. Kurbatskiy N. P. Studies of the quantity and properties of forest combustible materials. *Voprosy lesnoy pirologii* [Forest pyrology issues]. Krasnoyarsk, 1970, pp. 5–58 (In Russian).

19. Gunyazhenko N. V. Changes in the microflora of forest soils as a result of the action of fire of varying intensity. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo* [Forest science and forestry], 1970, no. 3, pp. 175–181 (In Russian).

20. Usenya V. V. *Lesnyye pozhary, posledstviya i bor'ba s nimi* [Forest fires and fighting them]. Gomel, IL NAN Belarusi Publ., 2002. 206 p.

21. Klimchik G. Ya., Rikhter I. E., Bakhur O. V. Loss of organic matter and nitrogen in pine young stands at varying intensity of lowland fires. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2005, issue XIII, pp. 55–57 (In Russian).

22. Klimchik G. Ya., Rikhter I. E., Shalimo P. V. *Vliyaniye lesnykh pozharov na lesnyye biotsenozy* [The influence of flax fires on forest biocenoses]. Minsk, Vossamediya Publ., 2009. 40 p.

23. ТКР 622-2018 (33090). Technical requirements for forest management. Branch and taxation of cutting areas in the forests of the Republic of Belarus. Minsk, 2018. 96 p. (In Russian).

24. *Instruktsiya po sokhraneniyu podrosta i molodnyaka khozyaystvenno tsennykh porod pri razrabotke lesosek i priyemke ot lesozagotoviteley vyrubok s provedennymi meropriyatiyami po vosstanovleniyu lesa: utv. prikazom Gosleskhoza SSSR ot 8 dekabrya 1983 g. N 147* [Instructions for the conservation of undergrowth and young stock of economically valuable breeds in the development of cutting areas and acceptance of logging from loggers with measures for forest restoration. Order no. 147, 8 december 1983]. Minsk, 1983. 8 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**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

**Бельчина Олеся Григорьевна** – магистрант кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: belchyna@belstu.by

### Information about the authors

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

**Belchyna Olesia Grigorievna** – Master's degree student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belchyna@belstu.by

Поступила 19.12.2018

УДК 630.174:630\*524

**А. О. Луферов**

Белорусский государственный технологический университет

**ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДУЮЩЕГО  
ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ  
НА НЕ ПОКРЫТЫХ ЛЕСОМ ЗЕМЛЯХ**

В статье приведены результаты анализа литературных источников, опытного материала и статистической информации для выявления эффективности хода последующего естественного возобновления сосны на не покрытых лесом землях, а также факторов, влияющих на формирование естественных насаждений. Проанализирован отечественный и зарубежный опыт, выявлены особенности и факторы, влияющие на ход естественного возобновления леса. Исследование проводилось на территории 10 лесохозяйственных учреждений Беларуси с охватом всех геоботанических подзон на прогалинах (24 пробные площади) и вырубках после проведения сплошных санитарных рубок и сплошных рубок главного пользования (23 пробные площади) с учетом типов лесорастительных условий и условий местопрорастания. Исследовался также ход естественного возобновления на участках с созданными лесными культурами (11 пробных площадей). Проведен статистический анализ собранных полевых материалов для выявления закономерностей формирования подроста сосны. Рассчитана экономическая эффективность проведения мероприятий по содействию естественному возобновлению леса по сравнению с созданием лесных культур. Выявлена эффективность хода естественного возобновления насаждений на прогалинах (формируются молодняки с плотностью 2,8–58,0 тыс. шт./га), вырубках (2,2–45,6 тыс. шт./га), а также на участках с созданными лесными культурами (примесь естественного возобновления составляет 1,8–14,9 тыс. шт./га).

**Ключевые слова:** сосна, естественное возобновление леса, прогалина, рубка.

**A. O. Lufarov**

Belarusian State Technological University

**SYLVICULTURAL EFFICIENCY OF THE SUBSEQUENT NATURAL  
REGENERATION OF *PINUS SYLVESTRIS* ON FOREST UNCOVERED LANDS**

The article presents the results of the analysis of statistical information, literary sources and experimental materials to identify the effectiveness of the course of subsequent natural regeneration of pine on uncovered forest lands, as well as factors affecting the formation of natural forest stands. The local and foreign experience is analyzed, the features and factors influencing the course of natural renewal are revealed. The study was conducted on the territory of 10 forest enterprises of Belarus with coverage of all geobotanical subzones on glades (24 sample areas), cutting areas after clear sanitary felling and clear final felling (23 sample areas), taking into account the types of vegetative and land conditions. The course of natural renewal was also investigated in areas with established forest cultures (11 sample areas). A statistical analysis of the collected field materials was carried out to identify patterns of pine undergrowth formation. The economic efficiency of measures to promote the natural regeneration of forests compared with the creation of forest cultures has been calculated. It was found the effectiveness of the course of natural regeneration of forest stands on glades (with forming of young stands with a density of 2.8–58.0 thousand units per ha), cutting areas (2.2–45.6 thousand units per ha), as well as on plots with forest cultures (admixture of natural regeneration is 1.8–14.9 thousand units per hectare).

**Key words:** pine, natural regeneration of forests, glade, cutting area.

**Введение.** В условиях массового усыхания хвойных насаждений последних лет [1–3] в Беларуси и других странах и, как следствие, необходимости качественного лесовосстановления образующихся вырубок после проведения сплошных санитарных рубок вполне закономерным будет вопрос: чем и как восстанавливать такие участки? Создание монокультур сосны обыкновенной – не самый лучший вариант, так как в условиях глобального потепления климата [4–5] сложно спрогнозировать устойчивость таких

лесных культур по прошествии двух классов возраста или даже ранее.

Полный переход на быстрорастущие и пока слабо подверженные усыханию мягколиственные породы пока также не представляется возможным – нельзя допустить резкого снижения доли ценных хвойных насаждений в породном составе страны.

Тем временем площадь вырубок после проведения сплошных санитарных рубок сосны по Брестскому и Гомельскому ГПЛХО только

за 2017 г. составляла около 5000 га [3]. В целом, исходя из данных Лесного кадастра, на 01.01.2017 по Министерству лесного хозяйства числилось 117,8 тыс. га вырубок [6].

Доля остальных категорий не покрытых лесом земель также значительна. На 01.01.2017 по землям Министерства лесного хозяйства числилось 78,6 тыс. га прогалин и пустырей. В этот объем входят и принятые из-под сельскохозяйственного пользования низкопродуктивные земли. Гари, погибшие насаждения занимают площадь 3,3 тыс. га [6].

Лесовосстановление не покрытых лесом земель – важная задача, требующая индивидуального профессионального подхода к каждому участку. Лесные культуры во многих случаях могут быть выходом из положения, однако не во всех лесотипологических условиях. Зависимость успешности хода естественного возобновления сосны от лесотипологических, географических и прочих факторов приводится в работах ряда авторов [7–12].

Безусловно, лесные культуры сосны довольно просто качественно вырастить на прогалинах и рубках сучкодольных типов леса, однако это в любом случае потребует материальных и временных затрат, которые можно избежать или сократить при использовании метода содействия естественному возобновлению.

Российскими исследователями [13] также подтверждается успешность естественного возобновления сосны на рубках без дополнительного создания лесных культур, особенно в сучкодольных типах леса, где количество соснового подроста составляет 15 тыс. шт./га, а встречаемость достигает 100%.

Кроме лесотипологического и почвенного факторов, важными условиями для появления соснового подроста в количестве, достаточном для формирования насаждения, являются освещенность [14] и наличие источников обсеменения. Исследование влияния климатических и пространственных факторов на успешность хода естественного возобновления сосны проводилось шведскими учеными еще в прошлом столетии [15]. Например, была выявлена положительная корреляция возобновления с температурой, продолжительностью вегетационного периода и влажностью почвы, а также отрицательная корреляция – с частотой заморозков.

В то же время недостаточно исследовано качество формирующегося соснового самосева, его микроположение, а также влияние типа условий местопрорастания на успешность естественного лесовосстановления. Выявление этих факторов и закономерностей поможет повысить эффективность последующего естественного возобновления.

**Основная часть.** Исследованием затронуто 12 лесохозяйственных учреждений (далее – лесхозов) Беларуси с распределением по всем геоботаническим подзонам (с охватом 9 геоботанических районов). Закладка временных пробных площадей производилась методом трансект – со сплошным пересчетом самосева на учетных площадках, площадь которых устанавливалась в зависимости от общей площади выдела и густоты подроста, определенной глазомерно. На учетных площадках учитывались:

- количество подроста для каждой древесной породы (средняя густота формирующегося насаждения высчитывалась по преобладающей размерной группе, в зависимости от средней высоты самосева на участке);

- возраст (для хвойных пород устанавливался по количеству мутовок, для лиственных – по количеству годовых колец на срезе);

- высота особей (в сантиметрах, с обобщением групп подроста, однородных по своим качественным показателям);

- местоположение (следующие учетные категории: по дну борозды, на пласте, между борозд; для участков без проведения минерализации почвы или тех участков, на которых следы минерализации, ввиду давности проведения мероприятия, не сохранились, – микропонижение, микроповышение, равнинный участок);

- категория качества (здоровый, угнетенный, мертвый, поврежденный);

- встречаемость подроста (устанавливалась для подроста в целом и для сосны в отдельности);

- живой напочвенный покров (далее – ЖНП; устанавливаются интенсивность и видовой состав);

- тип условий местопрорастания и тип лесорастительных условий (далее – ТУМ и ТЛУ);

- источники обсеменения (описывались единичные деревья или стена леса, находящаяся в направлении преобладающих ветров);

- хозяйственное мероприятие по проведению мер содействия естественному возобновлению леса (год проведения минерализации, орудие, глубина обработки).

Основной задачей данного исследования является анализ качественных и количественных характеристик соснового самосева и подроста. На рис. 1 приводится распределение естественного возобновления сосны на участках прогалин по категориям качества и ТУМ/ТЛУ. Заложены 24 временные пробные площади (далее – ВПП) в 6 лесхозах для исследования этой категории земель.

ВПП 1–7 заложены в ГЛХУ «Ушачский лесхоз», ВПП 8–15 – в ГОЛХУ «Копыльский опытный лесхоз», ВПП 16–20 – в ГЛХУ «Щучинский лесхоз», ВПП 21 – в ГОЛХУ «Гомельский опытный лесхоз», ВПП 22–24 – в Корневской экспериментальной лесной базе (ЭЛБ).

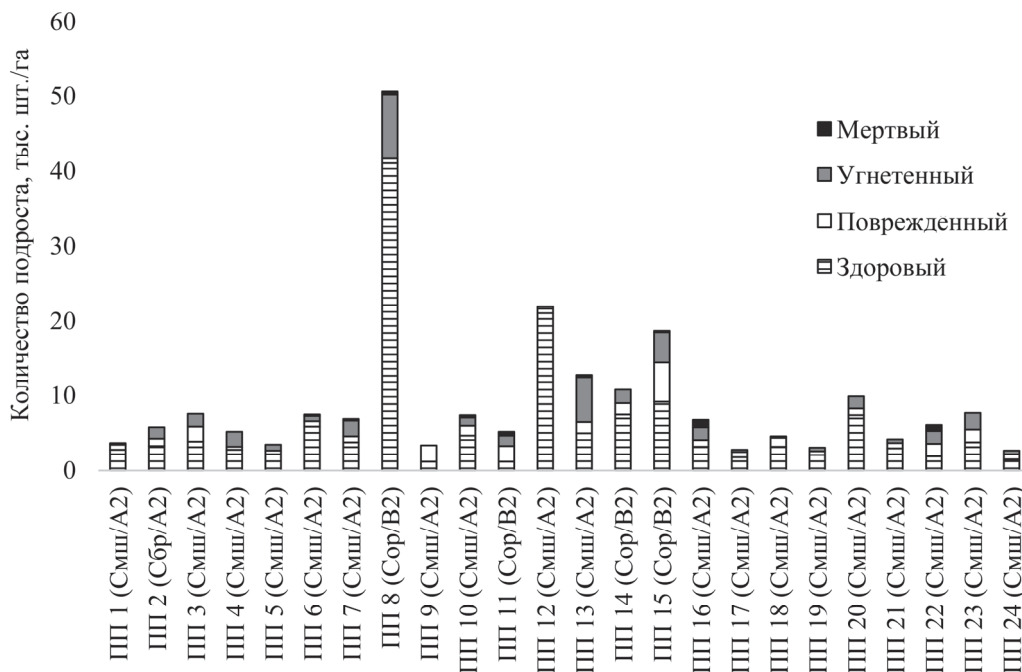


Рис. 1. Распределение естественного возобновления сосны на участках прогалин по категориям качества

В целом на участках прогалин формируются чистые и смешанные сосновые молодняки с густотой 2,8–58,0 тыс. шт./га. Более успешно естественное возобновление сосны наблюдается в сосняке орляковом и мшистом – в этих типах леса почвенные условия оптимальны для прорастания и формирования особей сосны. Средний состав формируемых молодняков в ТУМ А<sub>2</sub> – 9С1Б+Ос,Д,Е,Кл, в В<sub>2</sub> – 9С1Е+Ос,Б,Д. Встречаемость подростка составляет 0,38–1,00 (соснового самосева – 0,33–0,96).

Более подробные статистические характеристики естественно формирующихся молодняков приводятся ниже, в табл. 1 (см. с. 54).

Сосновый подрост, преимущественно, здоровый, однако для многих лесхозов актуальна проблема повреждения хвойных пород дикими животными (ВПП 4, 9, 11, 15, 16, 22, 23), в связи с чем довольно значительна доля поврежденных и мертвых особей.

Угнетенность соснового подростка связана как с горизонтальной световой конкуренцией (между сосновым самосевом и более быстрорастущим подростом мягколиственных и кустарниковых пород, а также травянистой растительностью, которые растут на одном уровне – к примеру, между борозд), так и с вертикальной конкуренцией (затенение соснового самосева, произрастающего по дну борозды, отвалами, образованными при минерализации почвы, или же затенение от стены леса взрослого насаждения, примыкающего к участку прогалины).

В целом наибольшее количество угнетенных особей сосредоточено именно по дну борозды (рис. 2). Это объясняется еще и тем, что при проведении минерализации почвы на излишнюю глубину – более 15 см – плодородный почвен-

ный слой «выгребается» на пласты (на которых по этой причине образуется также значительное количество соснового самосева), и хотя условия для прорастания соснового семени, ввиду устранения ЖНП, становятся более оптимальными в первые годы, затем этим всходам уже не хватает почвенных питательных веществ.

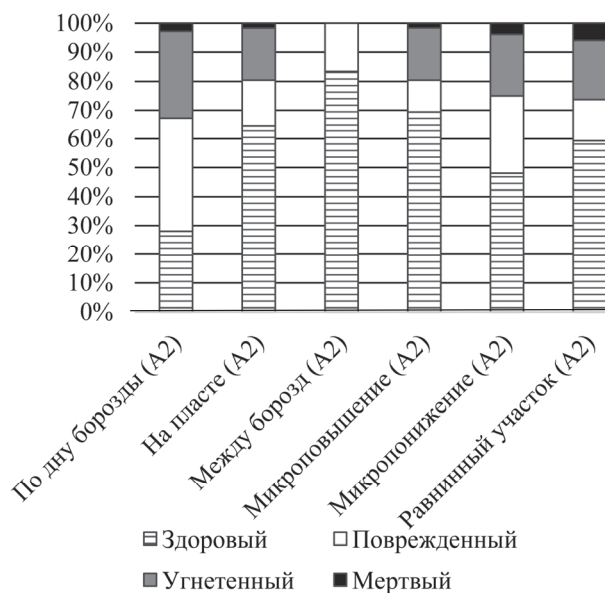


Рис. 2. Распределение подростка на прогалинах (ТУМ А<sub>2</sub>) по микроположению и категориям качества

На некоторых участках ход естественного возобновления сосны оказался успешным даже без проведения минерализации почвы – достаточно было среднеинтенсивного нарушения ЖНП дикими животными.

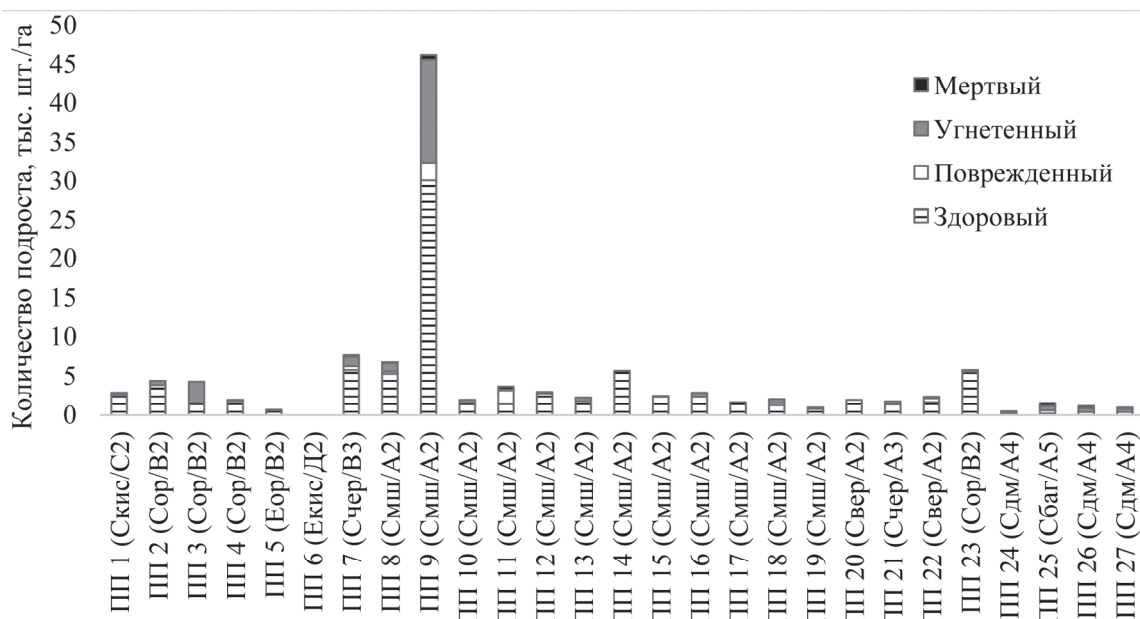


Рис. 3. Распределение естественного возобновления сосны на участках вырубок по категориям качества

На рис. 3 приводится распределение естественного возобновления сосны на участках вырубок по категориям качества и типам условий местопрорастания. Исследованию были подвергнуты, преимущественно, вырубки после сплошных санитарных рубок (ВПП 1–5, 9–23), а также обследовано несколько участков после проведения сплошных рубок главного пользования без сохранения подроста (ВПП 6–8).

ВПП 1–6 заложены в ГЛХУ «Горечий лесхоз», ВПП 7–8 – в ГЛХУ «Вилейский лесхоз», ВПП 9 – в ГОЛХУ «Копыльский опытный лесхоз», ВПП 10–14 – заложены в ГОЛХУ «Гомельский опытный лесхоз», ВПП 15–22 – в ГОЛХУ «Буда-Кошелевский опытный лесхоз», ВПП 23 – в ГЛХУ «Щучинский лесхоз», ВПП 24–27 – в ГЛХУ «Кобринский лесхоз».

В целом, главным отличием участков вырубок от прогалин в плане естественного лесовозобновительного потенциала является наличие (во многих случаях) равномерно расположенных семенных деревьев, что, однако, не очень актуально для вырубок, образующихся после проведения сплошных санитарных рубок.

Во всех ТУМ, кроме С<sub>2</sub> (здесь уже преобладает ель), формируются чистые или смешанные сосновые молодняки. Средние показатели их приводятся ниже, в табл. 1 (см. с. 54).

Самосев на вырубках в первые годы сосредотачивается по дну борозды, однако на 3–5-летних вырубках большая часть особей сосны расположена уже на микроповышениях, между борозд. В условиях В<sub>3</sub> большая часть сосны расположена на пласте – где не так интенсивно происходит зарастание травянистой растительностью и ЖНП.

Сосновый самосев на вырубках также преимущественно здоровый. Большая часть угнетенных

особей сосредоточена по дну борозды, поврежденные особи – это, по большей части, сохранившийся подрост.

Зависимость густоты формируемого соснового самосева (анализировалась на примере суходольных вырубок) от площади участка отсутствует (рис. 4).

На рис. 5 приводится сравнительное распределение формирующихся естественных молодняков на участках с созданными лесными культурами по ТУМ и состоянию.

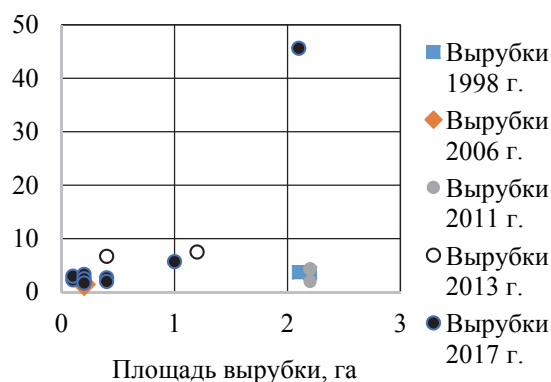


Рис. 4. Распределение вырубок по площади и количеству формируемого соснового самосева

Так, на вырубках 1998 г. площадью около 2,0 га формируются насаждения с густотой хвойных пород более 3,0 тыс. шт./га. На мелкоконтурных суходольных вырубках 2017 г. (до 0,5 га) количество сосновых всходов достигает 2,0 тыс. шт./га, а наибольшее количество соснового подроста сформировалось на ВПП 9 (более 40,0 тыс. шт./га), при том, что площадь данного участка превышает 2,0 га.

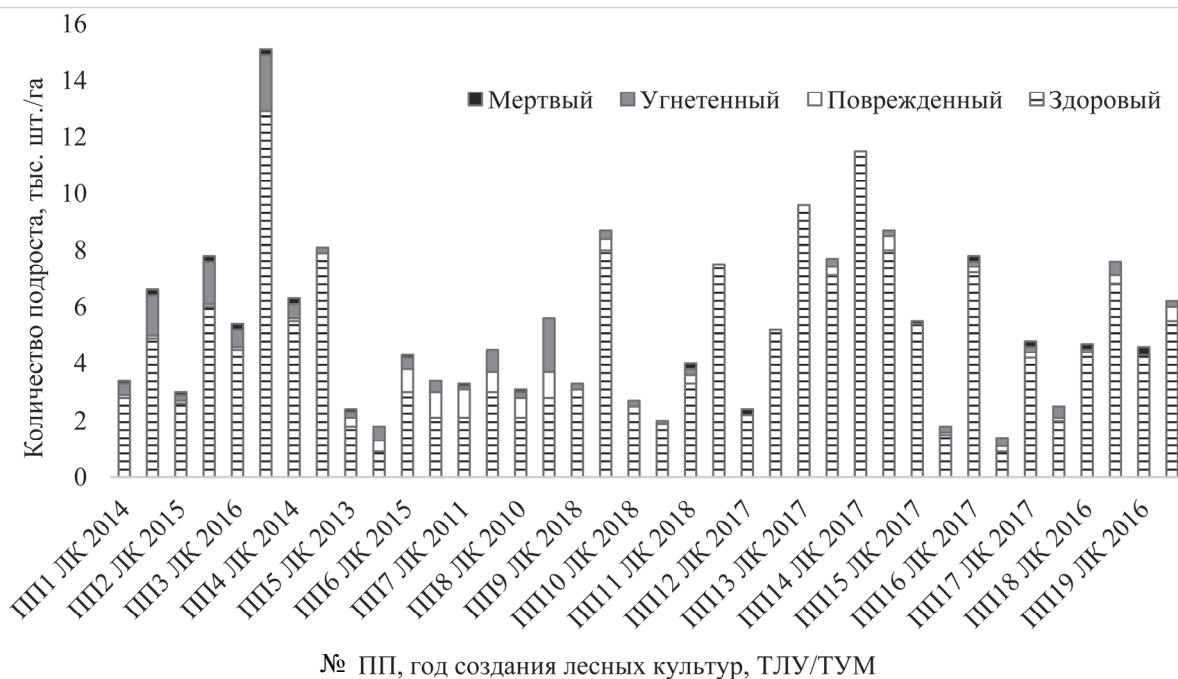


Рис. 5. Сравнительное распределение естественного возобновления и созданных лесных культур по пробным площадях, году создания, условиям местопроизрастания и категориям качества

Таким образом, при наличии равномерно расположенных семенных деревьев по площади участка, или стены леса с направления преобладающих ветров, обсеменение сосной может происходить успешно, вне зависимости от площади участка.

Исследованы несомкнувшиеся лесные культуры 2014–2016 гг. посадки. ВПП 1–4 заложены в ГЛХУ «Щучинский лесхоз», ВПП 5–8 – в ГЛХУ «Ивацевичский военный лесхоз», ВПП 9 – в Корневской ЭЛБ, ВПП 10–11 – в ГОЛХУ «Буда-Кошелевский опытный лесхоз», ВПП 12–17 – в ГЛХУ «Любанский лесхоз», ВПП 18–19 – в ГЛХУ «Кобринский лесхоз».

Средний состав созданных лесных культур на исследованных участках – 6С3Б1Д+Е (средняя густота посадки 4,7 тыс. шт./га), средний состав естественного возобновления – 7С2Б1Д+Е, Ос, Кл (средняя густота – 5,9 тыс. шт./га). В ТУМ Д<sub>2</sub> значительна примесь естественного дуба и ели (ВПП 1, 2), однако, к примеру, на ВПП 3 в этих условиях крайне успешно пошло естественное возобновление сосны (11,7 тыс. шт./га), что можно связать с эффективностью минерализации почвы валом Кроковского и совпадением времени проведения мероприятия с семенным годом.

В ТУМ А<sub>2</sub> и В<sub>2</sub> в большинстве случаев густота естественного возобновления превышает густоту лесных культур. Естественно формирующаяся сосна на данных участках в среднем более чем на 50% превышает долю сосны, созданной в порядке лесных культур.

На ВПП 14 (Любанский лесхоз) сосновые лесные культуры созданы посевом, и это дало отличный результат (11,5 тыс. шт./га).

Преобладает здоровый самосев сосны (в ТУМ А<sub>2</sub> – 83,1%, В<sub>2</sub> – 93,3%, С<sub>2</sub> – 71,9%). Поврежденность части особей естественного возобновления характерна больше для подроста, сохраненного при проведении рубки.

В целом на более свежих участках лесных культур (2016–2018 гг.) заметно, что сосновый самосев имеет более здоровое состояние, чем искусственно созданные посадки, которым необходимо время для акклиматизации после тепличных условий, в которых выращивались сеянцы. Посадки сосны, созданные по дну борозды, имеют большую угнетенность, отмечают также и мертвые особи.

Встречаемость естественно формирующейся сосны (в среднем 0,55) также закономерно превышает встречаемость сосновых лесных культур (средняя – 0,49), что связано с прорастанием семян и между борозд, и на пласте, а также наличием подроста, сохраненного при проведении рубки.

Сосновый самосев прорастает в основном по дну борозды (43,8%), особенно в первые годы после создания лесных культур. Значительная часть сосредоточена между борозд (38,4%), куда входит и сохраненный подрост. На пласте укоренилось 17,8% особей соснового самосева.

Более подробные средние показатели естественного возобновления сосны на участках с созданными лесными культурами приводятся в табл. 1.

Таблица 1

## Средние характеристики естественного формирующихся молодняков

Категория земель	ТУМ	Средний состав	Средняя густота, тыс. шт./га	Средняя встречаемость соснового подроста и самосева	Статистические показатели, характеризующие густоту естественного возобновления сосны						
					Среднее значение	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Дисперсия	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум
Прогалины	A <sub>2</sub>	9С1Б+Ос,Д,Е,Кл	7,9	0,60	6,99	1,08	4,84	23,41	0,69	2,7	23,0
	B <sub>2</sub>	9С1Е+Ос,Б,Д	25,9	0,78	21,15	10,21	20,43	417,35	0,96	4,7	50,6
Вырубки	A <sub>2</sub>	9С1Б+Д,Ос	6,7	0,45	5,91	3,08	11,53	132,84	1,95	1,0	45,6
	B <sub>2</sub>	4С1Е1Д4Б	9,1	0,45	3,88	0,66	1,47	2,16	0,38	2,0	5,8
	B <sub>3</sub>	5С3Б2Е	8,8	0,53	4,50	3,00	4,24	18,0	0,94	1,5	7,5
	C <sub>2</sub>	6Е2С2Б+Д	8,9	0,25	3,30	0,40	0,57	0,32	0,17	2,9	3,7
Лесные культуры	A <sub>2</sub>	7С2Б1Д+Ос	5,2	0,44	3,80	0,62	2,33	5,42	0,97	1,2	8,4
	B <sub>2</sub>	8С2Б+Д	4,8	0,59	3,75	2,65	3,75	14,05	0,99	1,1	6,4
	C <sub>2</sub>	6С1Д3Б+Е	9,6	0,61	5,93	2,96	5,12	26,26	0,86	1,9	11,7

Анализируя данные табл. 1, можно сделать следующие выводы. Распределение подроста и самосева на исследованных ВПП не подчиняется законам нормальности распределения (коэффициент вариации в большинстве случаев значительно выше 0,33), даже в пределах ТУМ, где условия местопроизрастания довольно однородные. Кроме того, для прогалин в ТУМ В<sub>2</sub>, вырубок в ТУМ В<sub>3</sub> и С<sub>2</sub>, а также для участков с созданными лесными культурами в ТУМ В<sub>2</sub> и С<sub>2</sub> было заложено всего по 2 ВПП, так что по этой выборке оценивать реальное распределение будет не совсем корректно.

Однако даже с учетом приведенных данных видно, что потенциал естественного возобновления сосны есть практически во всех исследованных ТУМ. Наиболее успешно сосновые молодняки (с примесью мягколиственных и твердолиственных пород) формируются в суходольных типах леса. В условиях В<sub>2</sub> (особенно переходного, с большими колебаниями макро-рельефа) и В<sub>3</sub> появляется уже больше ели, а также дуба, березы и осины. На вырубках в ТУМ С<sub>2</sub> формируются уже смешанные еловые насаждения. В лесных культурах, в этих же условиях, преобладание сосны обусловлено, главным образом, наличием подроста, сохранившимся при проведении рубки.

Встречаемость соснового самосева в ТУМ А<sub>2</sub> оказалась не самой высокой, что связано с групповым размещением особей; в этих условиях прорастание соснового семени идет наиболее успешно и происходит на частях участка с наименьшей интенсивностью ЖНП, которые располагаются (нередко) неравномерно. Ввиду сравнительной бедности ТУМ А<sub>2</sub>, в

этих условиях отмечается большая конкуренция за питательные вещества и, как следствие, выше в некоторых случаях отпад самосева. В более богатых условиях естественного формирующаяся сосна появилась исключительно благодаря проведению минерализации почвы, которая происходит равномерно по площади участка (в ТУМ А<sub>2</sub> минерализации на прогалинах могло и не быть в некоторых случаях). Также на вырубках в ТУМ В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> и С<sub>2</sub> значительная часть естественного возобновления сосны – это подрост, сохранившийся при проведении рубки.

В целом, анализируя показатели, характеризующие процессы естественного возобновления сосны, можно говорить о тенденции к более выраженной успешности возобновления на прогалинах по сравнению с вырубками. Проведенный анализ по *t*-критерию Стьюдента показал, что по густоте ( $t = 0,236$ ,  $df = 32$ ,  $p = 0,815$ ,  $t_{st}$  (для 5%-ного уровня значимости) = 2,036) различия недостоверны ( $t < t_{st}$ ). По встречаемости ( $t = 2,291$ ,  $df = 32$ ,  $p = 0,029$ ,  $t_{st}$  (для 5%-ного уровня значимости) = 2,036) различия достоверны ( $t > t_{st}$ ). В целом это означает большую потенциальную успешность возобновления (встречаемость со значительной вероятностью будет выше) на участках прогалин по сравнению с вырубками в условиях А<sub>2</sub>.

В табл. 2 приводятся сравнительные затраты на 1 га разных способов лесовосстановления в ТУМ А<sub>2</sub>. Для лесных культур принята стандартная схема: 7С3Б, 2,50×0,75, густота 5,3 тыс. шт./га; для лесных культур, создаваемых посадочным материалом с закрытой корневой системой (ЗКС): 10С, 4,0 тыс. шт./га; для создания частичных лесных культур густота посадки составит 1,8 тыс. шт./га.

Таблица 2

## Сравнительные затраты на разные способы лесовосстановления (на 1 га площади)

Статья затрат	Лесные культуры	Лесные культуры (ЗКС)	Частичные лесные культуры	Содействие естественному возобновлению леса
Основная заработная плата	1279,75	1147,89	685,18	588,64
В том числе:				
– тарифный фонд заработной платы	673,55	604,15	360,62	309,81
– премии и другие выплаты	606,19	543,74	324,56	278,83
Дополнительная заработная плата	153,57	137,75	82,22	70,64
Начисления на заработную плату	487,33	437,12	92,09	224,16
Затраты на содержание и эксплуатацию машин	2548,08	2547,72	1705,57	1704,96
Стоимость основных материалов	191,95	1200,00	64,60	–
<i>Итого прямых затрат</i>	<i>4660,68</i>	<i>5470,48</i>	<i>2629,66</i>	<i>2588,40</i>
Общепроизводственные затраты	699,10	820,57	394,45	388,26
<i>Всего затрат</i>	<i>5359,78</i>	<i>6291,05</i>	<i>3024,11</i>	<i>2976,66</i>

В состав мероприятий для создания лесных культур войдет частичная обработка почвы путем нарезки борозд (МТЗ-82, ПКЛ-70), подвозка семян (УАЗ-3303), временная прикопка семян (для обычных лесных культур), ручная посадка, дополнение культур и агротехнические уходы (кусторезом «Stihl»). Мероприятия по содействию естественному возобновлению включают частичную обработку почвы и агротехнические уходы. Большая часть затрат уходит на содержание машин и механизмов, а также на посадочный материал (для лесных культур с ЗКС).

В целом затраты на проведение мер содействия для 1 га в 1,8 раза меньше затрат на создание 1 га лесных культур и в 2,1 раза меньше затрат на создание лесных культур с ЗКС. Довольно перспективным во многих случаях будет также создание частичных лесных культур (20%) – стоимость посадочного материала не сильно увеличивает финальные затраты на этот способ лесовосстановления, по сравнению с проведением обычных мер содействия.

**Заключение.** В результате данного исследования было выявлено следующее:

1. На прогалинах в ТУМ А<sub>2</sub> и В<sub>2</sub> формируются чистые сосновые молодняки с примесью мягколиственных и ели, средней густотой 6,9–21,1 тыс. шт./га, встречаемостью 0,6–0,78.

2. На вырубках в ТУМ А<sub>2</sub> возобновляются чистые сосняки средней густотой 5,9 тыс. шт./га, встречаемостью 0,45. В более богатых условиях значительна примесь ели, дуба и мягколиственных. В ТУМ С<sub>2</sub> преобладает ель.

3. В лесных культурах примесь естественного возобновления в среднем на 25,5% превышает густоту созданных искусственных посадок. Встречаемость и качество естественных особей также выше. В результате сформируются более сложные смешанные разновозрастные и устойчивые насаждения.

4. В целом на всех категориях участков преобладает здоровый подрост; угнетенный подрост сосредоточен преимущественно по дну борозды, что связано с вертикальной и горизонтальной световой конкуренцией. Повреждается подрост в основном дикими животными.

5. Большая часть естественного возобновления сосны на прогалинах расположена на микроповышениях (40,1%) или на пласте (42,6%); на вырубках в первые годы сосредоточивается по дну борозды, затем концентрируется между борозд, в том числе и за счет сохраненного подраста. Эта же тенденция характерна и для участков лесных культур.

6. Выявлена тенденция к более выраженной успешности возобновления на прогалинах по сравнению с вырубками в условиях А<sub>2</sub> (встречаемость соснового самосева на прогалинах со значительной вероятностью будет выше). Однако эта закономерность требует более детального исследования.

7. Затраты на проведение мер содействия естественному возобновлению на 1 га в условиях А<sub>2</sub> в 1,8 раза меньше затрат на создание 1 га лесных культур и в 2,1 раза меньше затрат на создание лесных культур с ЗКС.

## Литература

1. Зялёны партал / Минск, 2017. URL: <http://greenbelarus.info/articles/27-06-2017/nadvigaetsya-beda-lesovody-belarusi-i-ukrainy-pytayutsya-ostanovit-usyhanie> (дата обращения: 16.03.2019).
2. 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.



3. Kunca A., Leontovyč R. Pines dieback caused by *Cenangium ferruginosum* Fr. in Slovakia in 2012 // *Folia Oecologica / De Gruyter Poland Sp. z o. o.* Warsaw, 2013. № 40. P. 220–224.
4. Канило П. М., Соловей В. В., Сарапина М. В. Антропогенно-экологические факторы глобального потепления климата // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2013. № 8 (114). С. 53–60.
5. Кучин В. Д., Никифорова Л. Е. Последствия глобального потепления климата на Земле // Труды Таврического государственного агротехнологического университета. 2013. Т. 4, № 5. С. 3–20.
6. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2017. Минск: Белгослес, 2017. 63 с.
7. Положенцев И. П., Зигангиров А. М. Естественное возобновление сосновых лесов Южного Урала // Лесное хозяйство. 1961. № 6. С. 18–21.
8. Исаева Р. П., Луганский Н. А. Естественные лесовосстановительные процессы в подзонах южной тайги и темнохвойно-широколиственных лесов Урала // Лесообразовательный процесс на Урале и в Зауралье. Труды Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Свердловск, 1975. С. 94–127.
9. Зонально-географические и типологические закономерности естественного возобновления в лесах Свердловской области / Б. П. Колесников [и др.] // Возобновление леса. М.: Колос, 1975. С. 91–118.
10. Хатмуллин Р. З., Кулагин А. Ю., Уразильдин Р. В. Оценка естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) в естественных и антропогенно-нарушенных ландшафтах южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург, 2009. № 6 (112). С. 412–414.
11. Краснов М. А. Естественное возобновление сосны в связи с вырубками и пожарами // Бузулукский бор. М., 1950. Т. 2. С. 3–90.
12. Чудников П. И. Естественное возобновление сосны на дюнных песках в сосновых борах степной зоны на основании исследований в Бузулукском лесном массиве. Свердловск: Галицкий лесотехникум, 1925. С. 5–180.
13. Рунова Е. М., Соловьева А. А. Особенности формирования молодого поколения сосны обыкновенной на вырубках в районе Среднего Приангарья // Успехи современного естествознания. М., 2018. № 4. С. 92–97.
14. Алимова Д. Н., Миленин А. И., Алимов Н. И. Влияние освещенности на естественное возобновление сосны обыкновенной в Арчединском лесничестве Волгоградской области // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск, 2016. № 19 (1). С. 3–6.
15. Tegelman D. O. Site factors as multivariate predictors of the success of natural regeneration in Scots pine forests // *Forest Ecology and Management*, Elsevier Science Publishing Company Inc. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 1998. Vol. 109, no 1–3. P. 231–239.

### References

1. Zyalony Portal [Green Portal] / Minsk, 2017. Available at: <http://greenbelarus.info/articles/27-06-2017/nadvigaetsya-beda-lesovody-belarusi-i-ukrainy-pytayutsya-ostanovit-usyhanie> (accessed 16.03.2019).
2. Sazonov A. A. [et al.]. *Otchet o rezul'tatakh ekspeditsionnogo lesopatologicheskogo obsledovaniya nasazhdeniy GLKhU "Lyubanskiy leskhoz", GLKhU "Petrikovskiy leskhoz" i GOLKhU "Mozyrskiy opytnyy leskhoz" specialistami RUP "Belgosles" po sostoyaniyu na 1 noyabrya 2017 goda* [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 Publ., 2017, no 3. 19 p.
3. Kunca A., Leontovyč R. Pines dieback caused by *Cenangium ferruginosum* Fr. in Slovakia in 2012. *Folia Oecologica*. De Gruyter Poland Sp. z o. o. Warsaw, 2013, no 40, pp. 220–224.
4. Kanilo P. M., Solovey V. V., Sarapina M. V. Anthropogenic-environmental factors of global warming. *Energoberezhniye. Energetika. Energeticheskiy audit* [Energy Saving. Energy. Energy audit], 2013, no 8 (114), pp. 53–60 (In Russian).
5. Kuchin V. D., Nikiforova L. Ye. Consequences of global climate warming on the Earth. *Trudy Tavricheskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta* [Proceedings of the Tavrichesky State Agrotechnological University], 2013, vol. 4, no 5, pp. 3–20 (In Russian).
6. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus po sostoyaniyu na 01.01.2017 goda* [The State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2017]. Minsk, Belgosles Publ., 2017. 63 p.
7. Polozhentsev I. P., Zigangirov A. M. Natural Restoration of the Pine Forests of the South Urals. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1961, no 6, pp. 18–21 (In Russian).
8. Isaeva P. P., Luganskiy N. A. Natural forest regeneration processes in the sub-zones of the southern taiga and dark coniferous-deciduous forests of the Urals. *Lesoobrazovatel'nyy protsess na Urale*

*i v Zaural'ye* [Forest formation process in the Urals and in the Trans-Urals]. Sverdlovsk, 1975, pp. 94–127 (In Russian).

9. Kolesnikov B. P., Konovalov N. A., Isaev R. P., Luganskiy N. A. Zonal-geographical and typological patterns of natural renewal in the forests of the Sverdlovsk region. *Vozobnovleniye lesa* [Forest regeneration]. Moscow, Kolos Publ., 1975, pp. 91–118.

10. Khatmullin R. Z., Kulagin A. Yu., Urazgildin R. V. Assessment of the natural renewal of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) in natural and anthropogenically disturbed landscapes of the southern Urals. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Orenburg State University Bulletin], Orenburg, 2009, no 6 (112), pp. 412–414 (In Russian).

11. Krasnov M. A. Natural renewal of pine due to logging and fires. *Buzulukskiy bor* [Pine forest of Buzuluk], Moscow, 1950, vol. 2, 1950, pp. 3–90 (In Russian).

12. Chudnikov P. I. *Estestvennoye vozobnovleniye sosny na dyunnykh peskakh v sosnovykh borakh stepnoy zony na osnovanii issledovaniy v Buzulukskom lesnom massive* [Natural renewal of pine on dune sands in pine forests of the steppe zone on the basis of research in the Buzuluk forest area]. Sverdlovsk, 1925, pp. 5–180 (In Russian).

13. Runova E. M., Solov'yova A. A. Features of the formation of the younger generation of Scots pine on clearings in the area of the Middle Angara region. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Successes of modern nature knowledge]. Moscow, 2018, no 4, pp. 92–97 (In Russian).

14. Alimova D. N., Milenin A. I., Alimov N. I. The Effect of Illumination on the Natural Restoration of Scots Pine in the Archedinsky Forestry of the Volgograd Region. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit-Growing, Seed-Growing, and Introduction of Woody Plants]. Krasnoyarsk, 2016, no 19 (1), pp. 3–6 (In Russian).

15. Tegelmark D. O. Site factors as multivariate predictors of the success of natural regeneration in Scots pine forests. *Forest Ecology and Management, Elsevier Science Publishing Company Inc.* Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, 1998, vol. 109, no 1–3, pp. 231–239.

#### **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

#### **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

*Поступила 27.03.2019*

УДК 630\*181.34

**Л. Н. Рожков<sup>1</sup>, В. Г. Шатравко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь

**ВЛИЯНИЕ ТРАДИЦИОННОЙ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
НА СОДЕРЖАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
И УГЛЕРОДНЫЕ ПОТОКИ В НАСАЖДЕНИЯХ  
*PINETA – PICEETA OXALIDOSA – PLEUROZIOSA – PTERIDIOSA – MYRTILLOSA***

Рассматривается динамика потоков воздушного и почвенного питания (С, N, P, K, Ca, Mg) насаждений *Pineta – Piceeta* в лесорастительных условиях *oxalidosa – pleuroziosa – pteridiosa – myrtillosa* на этапе перехода возрастных групп «приспевающие – спелые». Дается оценка влияния традиционной лесохозяйственной деятельности с учетом усыхания лесов в последние десятилетия. Объектами анализа являются насаждения шести пробных площадей, заложенных в 2001–2006 гг. на ППУ лесного мониторинга. Изменение за 17 лет лесоводственно-таксационных показателей древостоев (среднее изменение запаса, полнота, средний запас, интенсивность отпада) аналогично показателям лесного фонда для эксплуатационных лесов. Содержание элементов питания в почве является достаточным по азоту, относительно удовлетворительным по кальцию и недостаточным по фосфору, магнию и калию. Содержание элементов питания в почве уменьшилось, за редким исключением. На исходный период (2001 г.) запасы азота и зольных элементов в почве (0–30 см) и лесной подстилке перекрывали годовую потребность насаждений на 15 лет; спустя 17 лет сократились до 9. Установлено, что насаждения обеспечивают свою потребность в элементах питания до 25–88% за счет поглощения из слоев почвы глубиной свыше 30 см. Выявлена устойчивая тенденция лесной экосистемы к секвестрации органического углерода в почве и в меньшей степени в лесной подстилке. Интенсивность секвестрации составила от 0,17 до 0,68 тС/га·год. Изменение массы углерода в лесной экосистеме зависит от его фотосинтеза древостоем. В нормально развивающихся приспевающих хвойных древостоях годовичная абсорбция изменялась в пределах 1,92–2,84 тС/га·год, в условиях низкой интенсивности усыхания – 0,07. В условиях усыхания порядка 68% запаса имела место «эмиссия» в объеме минус 3,46 тС/га·год за счет вырубки усохшей древесины.

**Ключевые слова:** лесохозяйственная деятельность, изменение лесов, элементы почвенного питания, углеродные потоки в лесах.

**L. N. Rozhkov<sup>1</sup>, V. G. Shatravko<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Ministry of Forestry of the Republic of Belarus

**THE INFLUENCE OF TRADITIONAL FORESTRY ACTIVITY ON NUTRIENT  
ELEMENTS CONTENT AND CARBON FLOWS IN *PINETA – PICEETA  
OXALIDOSA – PLEUROZIOSA – PTERIDIOSA – MYRTILLOSA* STANDS**

The dynamics of air and soil nutrition flows (C, N, P, K, Ca, Mg) of *Pineta – Piceeta* stands in forest growth conditions of *oxalidosa – pleuroziosa – pteridiosa – myrtillosa* at the stage of transition of age groups «ripening – ripe» is considered. The impact of traditional forestry, including forest drying out in the last ten years, is assessed. The objects of the analysis are the stands of 6 pilot sites laid in 2001–2006 on the forest monitoring PCP (permanent counting post). The change of forest valuation indicators of the forest stands in 17 years (average stock change, density, middle stock, loss intensity) is similar to the indicators of the forest fund for exploitable forests. The content of nutrients in the soil is sufficient in nitrogen, relatively satisfactory in calcium and insufficient in phosphorus, magnesium and potassium. The content of nutrients in the soil decreased, with some exceptions. For the initial period (2001) nitrogen and ash elements deposits in soil (0–30 cm) and forest litter exceeded the annual need of stands for 15 years; after 17 years, decreased to 9. It is found that stands provide their need for nutrients to 25–88% due to absorption from soil layers of over 30 cm depth. A steady trend of the forest ecosystem for sequestration of organic carbon in soil and, to a lesser extent, in forest litter was revealed. The intensity of the sequestration ranged from 0.17 to 0.68 tC/ha per year. The change in the mass of carbon in forest ecosystem depends on its photosynthesis by forest stand. In normally developing ripening coniferous stands annual absorption varied within 1.92–2.84 tC/ha per year, in low intensity drying conditions – 0.07. In conditions of drying, about 68% of the stock, there was an “emission” in the amount of minus 3.46 tC/ha per year due to cutting down of trees wood.

**Key words:** forestry, forest change, soil nutrients, carbon flows in forests.

**Введение.** Ведение лесного хозяйства, не исключая восстановление, уход, охрану, защиту и пользование лесом, вызывает изменение лесной экосистемы.

Наши исследования о динамике в течение четырех-пяти десятилетий лесного фонда в его неизменных территориальных границах свидетельствуют о следующем [1]. Активному лесохозяйственному воздействию были подвергнуты порядка 34,5% выделов, в наибольшей степени среди низкополнотных (40,9%) и среднеполнотных (38,9%) древостоев. За исследованный период увеличилась площадь главных древесных видов (*Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Quercus robur*, *Alnus incana* и др.). *Betula pendula* увеличила занимаемую площадь в основном за счет не покрытых лесом и нелесных земель. Повысилась продуктивность лесов (+0,5 классов бонитета), увеличились в 1,4 раза среднее изменение запаса и в 1,5 раза средний запас спелых и перестойных насаждений. Подверглась трансформации типологическая структура лесов: сократились площади серий типов леса *Callunosum*, *Vaccinosum* и *Myrtillosum*; увеличились – *Pteridiosum*, *Oxalidosum*.

Успешность лесохозяйственной деятельности оказалась достаточно эффективной в экологическом отношении: относительный показатель состояния лесного фонда увеличился в 4,6 раза, качественное состояние лесного фонда изменилось с градации «среднее» на «очень хорошее». При этом все же не были достигнуты оптимальные возрастная и полнотная структуры лесов [2, 3].

Лесохозяйственная деятельность в Беларуси является экономически эффективной. Рентабельность от лесохозяйственной деятельности отдельных лесничеств составила за счет прироста древесных запасов от 2,6 до 88,1% и за счет экологического эффекта от углерододепонирующей функции леса – от 21,7% до 122,8%. Общая эколого-экономическая рентабельность составила от 24,3 до 310,9%. Наименьшая рентабельность (2,6%) от прироста древесных запасов имеет место при традиционной лесохозяйственной деятельности без применения активных мер хозяйственного воздействия. Наибольшая рентабельность (88,1%) имеет место при комплексном применении хозяйственных мероприятий. Рентабельность при естественном лесовозобновлении с мерами содействия составила 54,2% и без мер содействия 44,1%, при проведении рубок реконструкции 27,8%, при создании лесных культур после главных рубок 10,5% и после реконструкции лесокультурными методами 6,3% [4, 5].

Наблюдаемые в последние годы климатические изменения нередко усиливают негативные воздействия на состояние лесов. В частности, происходит усыхание сосновых лесов, потребовавших проведения в 2017 г. 29 319 га сплошных

санитарных рубок [6]. Прогнозируется увеличение количества и площади лесных пожаров, следствием которых являются потери органического вещества, азота и зольных элементов питания насаждений, снижение прироста запаса [7]. Увеличивается применение лесозаготовительной техники (харвестеров, форвардеров) на рубках ухода за лесом, что ухудшает водно-физические свойства почвы, соотношение между лесными и луговыми видами в живом напочвенном покрове; интенсифицируется процесс нитрификации [8]. Наблюдаемое увеличение вероятности экстремального проявления абиотических и биотических факторов определяет неблагоприятные условия функционирования лесов и снижение их устойчивости, возрастание масштабов повреждения и усыхания древостоев [9].

В последние десятилетия в Беларуси уделяется большое внимание вопросам экосистемных услуг, предоставляемых лесными экосистемами, в том числе депонированию углерода [10, 11]. С целью установления влияния способов рубок главного пользования и лесовосстановления и удаления/неудаления порубочных остатков на депонирование углерода, содержание питательных веществ в почве и сохранение биоразнообразия Всемирный банк и Глобальный экологический фонд реализуют выполнение Мероприятия 3.1.3.3 в рамках «Проекта развития лесного сектора Республики Беларусь» [12].

**Основная часть.** Настоящие исследования по установлению влияния традиционных лесохозяйственных воздействий на динамику углерода, азота и зольных элементов в лесных насаждениях осуществлены при разработке мероприятия 3.1.3.3 [12]. Объектами анализа приняты шесть пробных площадей, заложенных РУП «Белгослес» на ППУ лесного мониторинга (табл. 1). Были использованы данные лесной таксации и почвенных анализов на исходный год учета (2001 г.). По состоянию на 2018 г. произведена таксация и взяты почвенные образцы (В. Л. Красовский, РУП «Белгослес»), выполнены агрохимические анализы в почвенной лаборатории РУП «Белгослес». Обработка материалов, анализ полученных результатов, формирование выводов выполнены авторами.

В табл. 1 приведена лесоводственно-таксационная характеристика лесных насаждений на исследуемых пробных площадях.

Анализ табл. 1 свидетельствует о репрезентативности насаждений пробных площадей средним показателям припевающих и спелых хвойных древостоев лесного фонда Республики Беларусь: на исходный период (2001) полнота – 0,72, запас – 283 м<sup>3</sup>/га. Еловые древостои подвергаются усыханию, что характерно для последних лет.

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев  
на пробных площадях ППУ лесного мониторинга РУП «Белгослес»

ППУ/ПП, Тип леса	Год учета	Состав	Возраст, лет	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Сухостой/валеж, м <sup>3</sup> /га	Лесная подстилка, т/га
5087/28 <i>Piceeta oxalidosum</i>	2001	7 <i>Pic</i> 2 <i>Bet</i> 1 <i>Pin</i>	70	0,6	240	–	14,36
	2018	7 <i>Pic</i> 2 <i>Bet</i> 1 <i>Pin</i>	87	0,6	250	20/20	18,59
5022/31 <i>Pineta pleuroziosum</i>	2001	10 <i>Pin</i> + <i>Bet</i>	60	0,8	290	–	10,54
	2018	10 <i>Pin</i> + <i>Bet</i>	77	0,8	320	5/5	13,34
5125 <i>Piceeta pleuroziosum</i>	2006	7 <i>Pic</i> 3 <i>Bet</i> + <i>Pop.tr</i>	90	0,6	270	–	18,10
	2018	7 <i>Pic</i> 3 <i>Bet</i> + <i>Pop.tr</i>	102	0,3	160	20/30	19,84
5021/29 <i>Pineta pteridiosum</i>	2001	10 <i>Pin</i>	80	0,6	290	–	9,74
	2018	10 <i>Pin</i>	97	0,7	340	2/–	12,32
5011/41 <i>Piceeta pteridiosum</i>	2001	4 <i>Pic</i> 2 <i>Pin</i> 3 <i>Bet</i>	70	0,8	290	–	12,54
	2018	4 <i>Pic</i> 2 <i>Pin</i> 3 <i>Bet</i>	87	0,5	240	15/20	12,41
5186/34 <i>Pineta myrtillosum</i>	2001	4 <i>Pin</i> 6 <i>Bet</i> + <i>Pic, Pop.tr</i>	80	0,9	320	–	8,45
	2018	5 <i>Pin</i> 5 <i>Bet</i> + <i>Pic, Pop.tr</i>	97	0,7	340	+	12,58

В результате среднее изменение сырораствующего запаса составило: у сосновых насаждений 1,96 м<sup>3</sup>/га·год, у еловых – минус 3,33 м<sup>3</sup>/га·год; с учетом мертвой древесины соответственно 2,39 и минус 0,55.

Содержание в почве (0–30 см) элементов питания (рис. 1) является достаточным по азоту (0,047–0,270%), относительно удовлетворительным по кальцию (0,048–0,133) и недостаточным

по фосфору (0,023–0,063), магнию (0,034–0,132) и калию (0,094–0,242%).

Полученные в рамках текущих исследований по мероприятию 3.1.3.3 [12] результаты по динамике элементов питания в компонентах лесных насаждений, являющихся объектами традиционного лесохозяйственного воздействия, свидетельствуют о следующем (табл. 2).

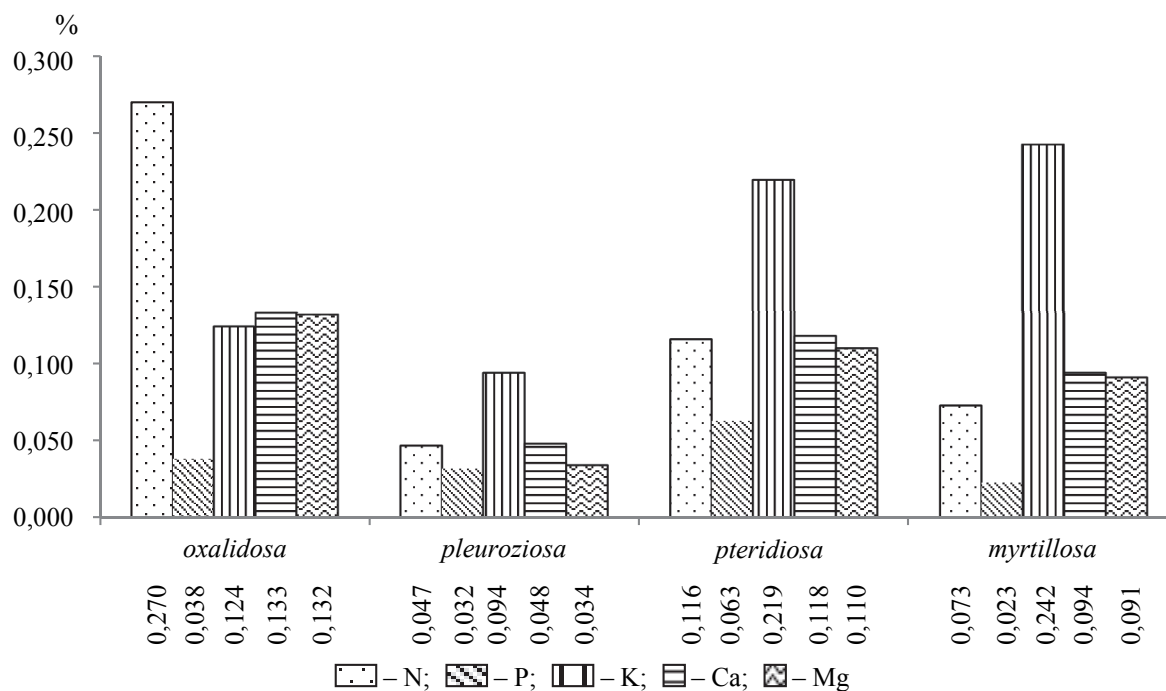


Рис. 1. Исходный (2001 г.) химический состав почвы (0–30 см)

Таблица 2

## Динамика элементов питания в насаждениях ППУ/ПП лесного мониторинга РУП «Белгослес»

ППУ/ПП	Компоненты лесной экосистемы	Год учета	Содержание элементов питания, кг/га					
			С	N	P	K	Ca	Mg
5087 28	Почва (0–30 см)	2001	51965	10393	1481	4792	5104	3429
		2018	34944	9700	266	1596	1512	2112
	Лесная подстилка	2001	5187	290	13	24	147	15
		2018	6761	224	14	20	232	16
	Фитомасса	2001	165840	301	932	2046	9842	2468
		2018	200390	392	1215	2665	12818	3214
5022 31	Почва (0–30 см)	2001	13871	1244	1465	5064	2443	1757
		2018	15649	2736	1170	1706	1232	4100
	Лесная подстилка	2001	4736	210	12	23	56	7
		2018	6183	166	10	8	28	4
	Фитомасса	2001	218080	357	1106	2427	11673	2927
		2018	248160	448	1388	3046	14649	3673
5125	Почва (0–30 см)	2006	19582	1852	626	1081	685	444
		2018	20498	2926	278	1334	611	433
	Лесная подстилка	2006	6243	308	25	37	112	17
		2018	7343	281	18	28	109	16
	Фитомасса	2006	186570	406	1258	2760	13276	3329
		2018	145110	294	911	1999	9613	2410
5021 29	Почва (0–30 см)	2001	15992	1697	2708	3786	2444	2033
		2018	23475	1529	1388	1460	964	1125
	Лесная подстилка	2001	4374	191	9	21	29	6
		2018	6149	151	12	36	77	17
	Фитомасса	2001	218080	322	998	2189	10529	2640
		2018	257184	476	1475	3236	15565	3903
5011 41	Почва (0–30 см)	2001	35798	6543	1774	11767	5977	5820
		2018	45882	4959	1627	5111	3311	4618
	Лесная подстилка	2001	4201	193	14	34	128	16
		2018	5747	195	12	29	134	14
	Фитомасса	2001	200390	364	1128	2475	11902	2984
		2018	190025	385	1192	2618	12588	3157
5186 34	Почва (0–30 см)	2001	20748	2704	855	8984	3482	3390
		2018	27972	806	890	3702	2086	2195
	Лесная подстилка	2001	3923	192	12	21	94	10
		2018	5125	129	13	22	116	13
	Фитомасса	2001	240640	413	1279	2808	13504	3386
		2018	263200	476	1475	3236	15565	3903

Содержание азота в почве (0–30 см) в среднем составляет в лесорастительных условиях *pleuroziosum* – 0,06%, *myrtillosum* – 0,09%, *pteridiosum* – 0,10% и *oxalidosum* – 0,26%, что близко к данным К. Л. Забелло и И. В. Соколовского [13]. В лесной подстилке содержание азота значительно выше и составляет: 1,50, 1,60, 1,40 и 1,57%; данные согласуются с исследованиями И. К. Блинова и П. Ф. Асютин [14]. Запасы зольных элементов (P, K, Ca, Mg) на исходный период составляли в почве (0–30 см) от 8,3 до 22,2 т/га и на 2018 г. от 5,4 до 9,8 т/га. В лесной подстилке содержание зольных элементов в среднем в 30 и более раз меньше, чем в почве (0–30 см).

Содержание азота и зольных элементов в почве (0–30 см) за истекшее 17 лет уменьшилось, за редким исключением (азот и магний в *Pin.–Pic. pleur*). Масса лесной подстилки увеличилась на 26–48% в здоровых насаждениях и практически не изменилась в ослабленных (усыхающих) ельниках (ППУ 5011 и 5125). Соответственно изменялось содержание элементов питания в лесной подстилке. За истекший период уменьшилось содержание зольных элементов в почве (0–30 см) в среднем в 2,2 раза и незначительно увеличилось (в 1,4 раза) в лесной подстилке (рис. 2). Уменьшение азота и зольных элементов в верхнем слое почвы объясняется их потреблением древостоем.

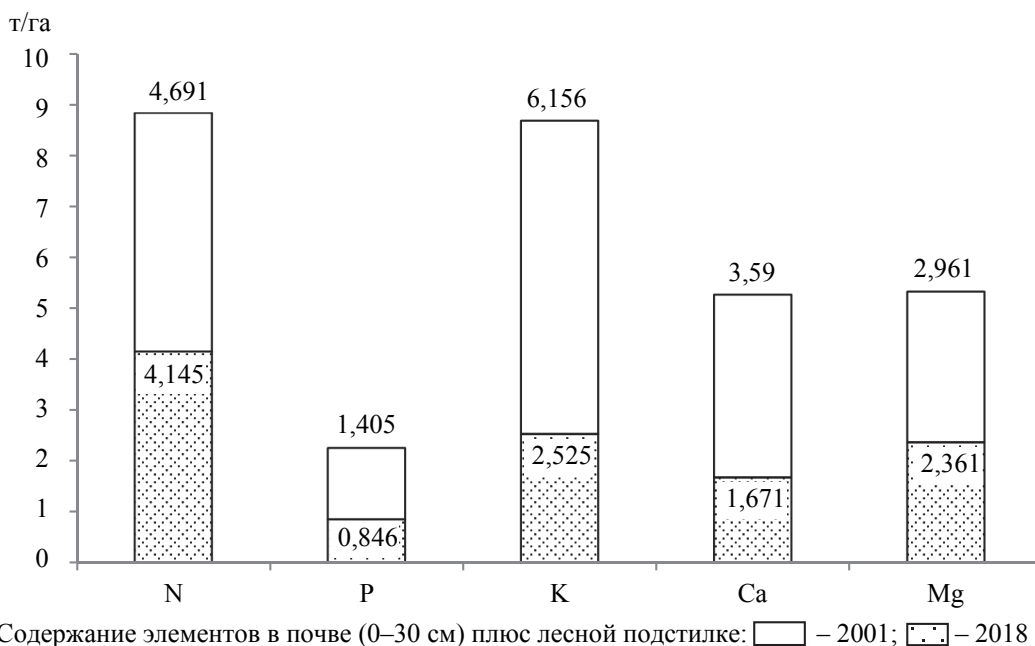


Рис. 2. Динамика элементов почвенного питания в приспевающих (спелых) хвойных насаждениях лесорастительных условий *oxalidos* – *pleuroziosa* – *pteridiosa* – *myrtillosa*

В фитомассе сосновых насаждений, не затронутых усыханием, содержание N, P, K, Ca и Mg за истекшие 17 лет увеличилось до 28%. В фитомассе усыхающих ельников (ППУ 5011 и 5125) содержание азота и зольных элементов уменьшилось на 6,0% в связи с вывозом древесины, заготовленной при санитарных рубках.

Потребление за 2001–2018 гг. сосновыми насаждениями азота и зольных элементов (P, K, Ca, Mg) на образование фитомассы составило около 13000 кг/га (ПП 5186/34 и 5021/29) и 9300 кг/га (ПП 5022/31). На исходный период запасы элементов питания в почве (0–30 см) и лесной подстилке удовлетворяли указанную потребность на 165% (ПП 5186/34), 128% (ПП 5021/29) и 199% (ПП 5022/31).

Как уже отмечалось, запасы элементов питания в почве (0–30 см) и лесной подстилке за 2001–2018 гг. уменьшились, но в менее значительных объемах, чем объемы их потребления. Известно [14], что в верхних горизонтах почвы (до 0,3–0,5 м) сосредоточено около 30–40% общего запаса химических элементов. Значительную часть элементов питания древостой потребляет из более глубоких слоев почвы. В нашем случае из слоев почвы глубиной свыше 30 см использованы для питания азот и зольные элементы насаждениями *Pineta pleuroziosa* – порядка 8200 кг/га (88% от объема потребления), *Pineta pteridiosa* – 6800 кг/га (53%) и *Pineta myrtillosa* – 3200 кг/га (25%).

Потребление лесом элементов питания из верхних слоев почвы также частично восполняется ежегодным поступлением опада, который формирует лесную подстилку. Объемы лесного опада исследованы недостаточно. В зоне смешанных лесов масса опада может составлять в сосняках 2,8–4,3 и ельниках – 3,2–7,0 т/га ежегодно [15, 16]. По этим причинам сокращение азота и зольных элементов в верхних слоях почвы не становится критическим в почвенном питании насаждений. В исследуемых насаждениях запасы азота и зольных элементов перекрывали их годовую потребность в 2001 г. на 15 лет и за семнадцать лет сократились только на шесть – до 9 лет в 2018 г.

Особый интерес на фоне происходящих изменений климата представляет динамика углеродных потоков в лесах традиционного лесохозяйственного воздействия (рис. 3).

На исходный период (2001 год) масса углерода в исследуемых приспевающих насаждениях составляла от 223 до 265 тС/га. За 17-летний период перехода приспевающих в возрастную группу спелых содержание углерода в экосистеме увеличилось на 37–56 тС/га в насаждениях, не подвергнутых усыханию. В условиях низкой интенсивности усыхания деревьев прирост составил порядка 1,3 тС/га (ПП 5011/41). При сильной интенсивности усыхания (ПП 5125) и санитарной вырубке порядка 68% запаса содержание углерода уменьшилось на 39,4 тС/га (минус 18,6%).

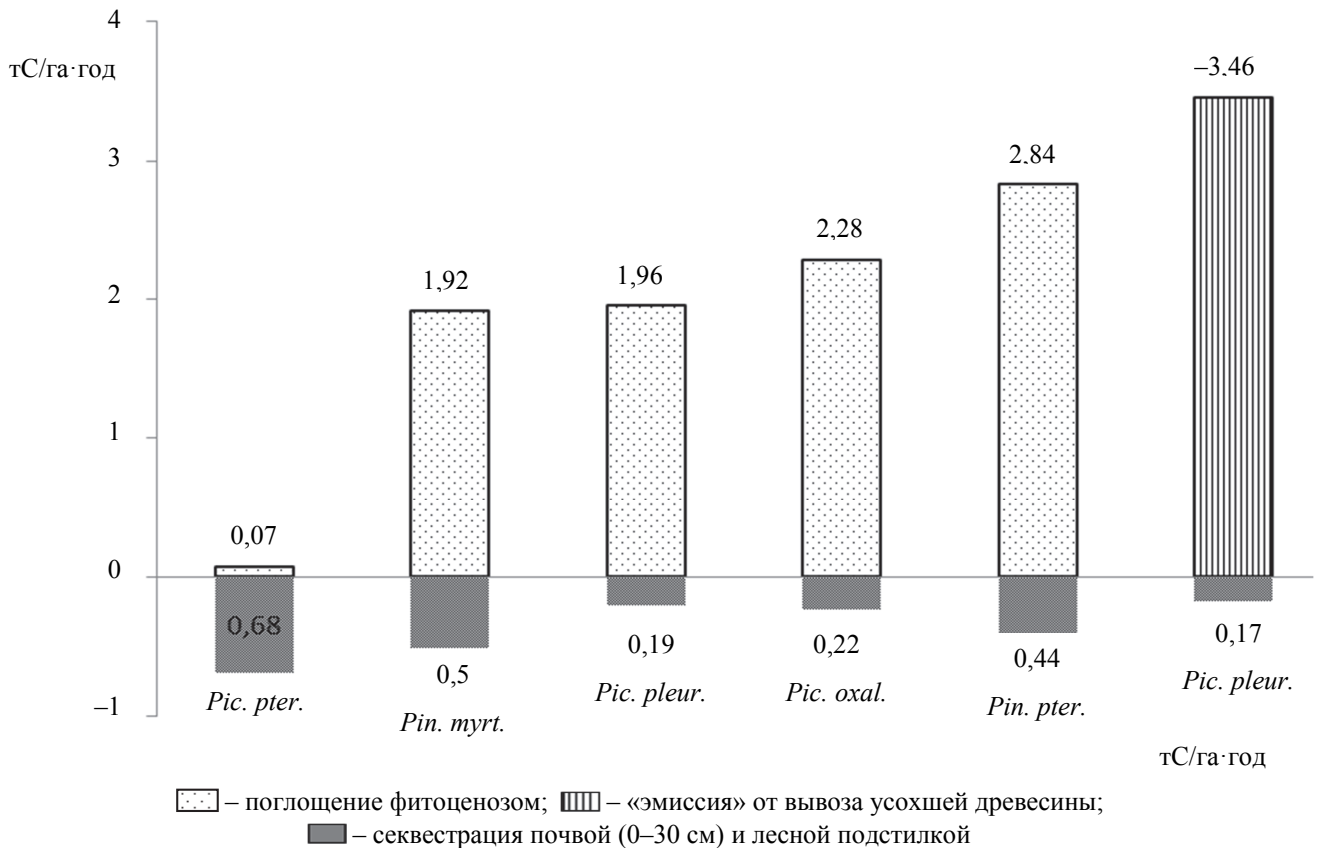


Рис. 3. Углеродные потоки в насаждениях традиционного воздействия на этапе «приспевающие – спелые», 2001–2018 гг.

**Заключение.** Лесохозяйственная деятельность в нормально развивающихся насаждениях не изменяет сложившуюся динамику лесоводственно-таксационных показателей на этапе перехода возрастных групп приспевающих в спелые древостои.

В условиях наблюдаемого в последние десятилетия усыхания хвойных лесов усиливается отпад, имеет место вырубка запаса в процессе выборочных санитарных рубок. В результате уменьшается изменение запаса, происходит интенсивная «эмиссия» углерода из-за вывоза усохшей древесины.

За истекшие семнадцать лет содержание элементов питания в почве (0–30 см) уменьшилось в среднем в 2,2 раза и незначительно увеличилось (в 1,4 раза) в лесной подстилке. Эти изменения обусловлены потреблением элементов питания древостоем.

Из анализа баланса азота и зольных элементов вытекает, что для удовлетворения своих потребностей древостой поглощает значительные объемы элементов питания из глубоких слоев почвы. По этой причине сокращение азота и зольных элементов в верхних слоях почвы не становится критическим в почвенном питании насаждений. Это подтверждается следующим результатом: в исследуемых древостоях запасы азота и зольных элементов в почве (0–30 см) перекрывали годовую потребность насаждений в 2001 г. примерно на 15 лет, а в 2018 г. – на 9 лет, т. е. сократились только на шесть за истекшие 17 лет.

Из анализа углеродных потоков выявлена важная устойчивая тенденция лесной экосистемы к секвестрации органического углерода в почве и, в меньшей степени, лесной подстилке. Секвестрация наблюдается как в ситуации с нормально функционирующими, так и усыхающими древостоями.

### Литература

1. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Влияние длительного хозяйственного воздействия на изменение лесного фонда // Сб. науч. тр. Гомель, 2011. Вып. 71: Проблемы лесоведения и лесоводства. С. 132–145.
2. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Методические подходы к оценке работы лесохозяйственных предприятий по совершенствованию лесного фонда // Лесное и охотничье хозяйство. 2010. № 12 (89). С. 20–24.



3. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Формирование лесной экосистемы Беларуси в послевоенный период // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–26 октября 2012 г. Минск: Минсктип-проект, 2012. С. 205–207.

4. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Сохранение средообразующей функции леса на этапе рубки главного пользования // Сб. науч. трудов по итогам Междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2012. Вып. 31: Актуальные проблемы лесного комплекса. С. 49–53.

5. Ерошкина И. Ф. Особенности трансформации лесного фонда Беларуси с учетом специализации лесохозяйственного предприятия: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Гомель, 2012. 23 с.

6. Усеня В. В., Блинова Н. С. Оценка численности вершинного (*Jps acuminatus* Gyll.) и шестизубчатого (*Jps sexdentatus* Boern.) короедов в сосновых насаждениях с применением феромонных препаратов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 84–88.

7. Рихтер И. Э., Бахур О. В., Климчик Г. Я. Влияние низового пожара разной интенсивности на текущий прирост, потери азота и зольных элементов в сосняке мшистом // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. 2009. Вып. XVII. С. 113–115.

8. Левковская М. В., Сарнацкий В. В. Влияние лесозаготовительной техники на живой напочвенной покров и некоторые свойства почв сосняков орляковых в результате проведения проходных рубок // Труды БГТУ. 2016. № 1 (183): Лесное хозяйство. С. 42–46.

9. Сарнацкий В. В. Эдафо-фитоценоотические особенности формирования древостоев на вырубках поврежденных и усохших ельников // Труды БГТУ. 2016. № 1 (183): Лесное хозяйство. С. 65–69.

10. Лесоуглеродный ресурс Беларуси / Л. Н. Рожков [и др.]; под общ. ред. Л. Н. Рожкова, И. В. Войтова, А. А. Кулика. Минск: БГТУ, 2018. 247 с.

11. Шиман Д. В., Юшкевич М. В., Клыш А. С. Пути увеличения абсорбции парниковых газов лесами Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 42–47.

12. Контракт № BFD/GEF/CQS/16/29–34/18 от 24.08.2018. Мероприятие 3.1.3.3 / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Всемирный Банк // Проект развития лесного сектора Республики Беларусь от 02.04.2015.

13. Забелло К. Л., Соколовский И. В. Азотное питание сосновых насаждений Минско-Борисовского геоботанического района // Лесоведение и лесное хозяйство, 1982. Вып. 17. С. 20–25.

14. Блинцов И. К., Асютин П. Ф. Химический состав и запас лесной подстилки хвойных насаждений на дерново-палево-подзолистых пылевато-суглинистых почвах // Лесоведение и лесное хозяйство. 1982. Вып. 17. С. 17–20.

15. Лиханова Н. В. Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 3. С. 52–66.

16. Молчанов А. А. Воздействие леса на окружающую среду. М., 1973. 359 с.

## References

1. Rozhkov L. N., Yeroshkina I. F. Influence of long-term economic impact on the change of the forest Fund. *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific works]. Gomel, 2011, issue 71: Problems of forestry and forestry, pp. 132–145 (In Russian).

2. Rozhkov L. N., Yeroshkina I. F. Methodological approaches to the assessment of the work of forestry enterprises to improve the forest Fund. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2010, no. 12 (89), pp. 20–24 (In Russian).

3. Rozhkov L. N., Yeroshkina I. F. Formation of the forest ecosystem of Belarus in the postwar period. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispol'zovaniya biologicheskikh resursov"* [Materials 2nd International Scientific and Practical Conference "Problems of conservation of biological diversity and the use of biological resources"]. Minsk, 2012, pp. 205–207 (In Russian).

4. Rozhkov L. N., Yeroshkina I. F. Preservation of the environment-forming function of the forest at the cutting stage main use. *Sbornik nauchnykh trudov po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Collection of scientific works on the results of the 2nd International Scientific and Technological Conference]. Bryansk, 2012, issue 31: Actual problems of the forest complex, pp. 49–53 (In Russian).

5. Yeroshkina I. F. *Osobennosti transformatsii lesnogo fonda Belarusi s uchetom spetsializatsii lesokhozyaystvennogo predpriyatiya. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Transformation characteristics of the forest

Fund of Belarus taking into account the specialization of forest-related enterprises. Abstract of thesis cand. of agricult. sci.]. Gomel, 2012. 23 p.

6. Usenya V. V., Blinova N. S. Estimation of number vertex (*Jpsacuminatus Gyll.*) and setsubtitle (*Jps sexdentatus Boern.*) bark beetles in pine plantations with the use of pheromone preparations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1 (216), pp. 84–88 (In Russian).

7. Rikhter I. E., Bakhur O. V., Klimchik G. Ya. Influence of the ground fire of different intensity on the current increase, losses of nitrogen and ash elements in pine forest mossy. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 113–115 (In Russian).

8. Levkovskaya M. V., Sarnatsky V. V. Influence of logging equipment on living ground cover and some soil properties of eagle pine forests as a result of passing logging. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1: Forestry, pp. 42–46 (In Russian).

9. Sarnatski V. V. Edapho-phytocenoses peculiarities of formation of forest clearings damaged and destroyed spruce stands. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1, Forestry, pp. 65–69 (In Russian).

10. Rozhkov L. [et al.]. Under the general editorship of L. Rozhkov, I. Voitu, A. Kulik. *Lesouglerodnyy resurs Belarusi* [Forest carbon Resource of Belarus]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 247 p.

11. Shiman D. V., Yushkevich M. V., Klysh A. S. Ways to increase the absorption of greenhouse gases by forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no 1 (216), pp. 42–47 (In Russian).

12. Contract no. BFDP/GEF/CQS/16/29-34/18 from 24.08.2018. Activity 3.1.3.3 Ministry of forestry of the Republic of Belarus, educational Institution «Belarusian state technological University», world Bank. *Proyekt razvitiya lesnogo sektora Respubliki Belarus' ot 02.04.2015* [Forest sector development Project of the Republic of Belarus dated 02.04.2015] (In Russian).

13. Zabello K. L., Sokolovski I. V. Nitrogen nutrition of pine plantations of Minsk – Borisov geobotanical district // *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo* [Proceedings of Dendrology and Forestry], 1982, issue 17, pp. 20–25 (In Russian).

14. Blintsov I. K., Asyutin P. F. Chemical composition and stock of the forest floor of pine plantations on sod-pale-podzolic silty-loamy soils. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo* [Proceedings Dendrology and Forestry], 1982, issue 17, pp. 17–20 (In Russian).

15. Likhanova N. V. The role of plant litter in the formation of forest litter in the felling of spruce forests in the middle taiga. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of higher educational institutions. Forest journal], 2014, no. 3, pp. 52–66 (In Russian).

16. Molchanov A. A. *Vozdeystviye lesa na okruzhayushchuyu sredu* [The Impact of Forests on the Environment]. Moscow, 1973. 359 p.

### Информация об авторах

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

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

### Information about the authors

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

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

Поступила 08.04.2019

УДК 630\*161.32:630\*907.3

**Л. Н. Рожков<sup>1</sup>, В. Г. Шатравко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь**УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС НА ЭТАПЕ ФОРМИРОВАНИЯ  
МОЛОДОГО НАСАЖДЕНИЯ  
В СВЯЗИ СО СПОСОБОМ ГЛАВНОЙ РУБКИ ЛЕСА**

Рассматривается динамика углеродных потоков при формировании молодых насаждений после главной рубки леса. Объектами исследования являлись пять участков спелых насаждений в типах леса *Pineta callunosum* и *Pineta pleuroziosum*. Сравнению подлежат варианты несплошных рубок с сохранением целевого подроста, мерами содействия и уходом за естественным возобновлением, с одной стороны, и сплошных рубок с созданием лесных культур – с другой. Установлено, что древо-стои естественного происхождения различаются примерно на 0,10–0,13 пунктов относительной полноты. По другим таксационным показателям – равнозначны. За 20-летний период после рубки секвестрация углерода на опытных участках несплошных рубок от 9 до 35 тС/га выше относительно участков сплошных рубок. «Эмиссия» CO<sub>2</sub> в год рубки от вывоза заготовленной древесины при несплошной рубке ниже примерно на 61,5% (от 96 до 170 тС/га) относительно участков сплошных рубок с созданием лесных культур. Последующая «эмиссия» в целом будет меньше, и распределяется она на период продолжительности класса возраста. Анализируется годичная абсорбция углекислого газа на участках сплошных/несплошных рубок по периодам: до рубки, в год рубки, 5–10–15 и 20 лет после рубки. Отмечено, что лесное хозяйство Беларуси заслуживает карбонной ренты за бесплатно используемый ресурс – поглотителя углекислого газа. Несплошные рубки – один из путей поддержания высокого уровня углероддепонировывающей функции леса.

**Ключевые слова:** секвестрация углерода лесом, абсорбция углекислого газа лесом, несплошные рубки, способы возобновления леса, карбонная рента.

**L. N. Rozhkov<sup>1</sup>, V. G. Shatravko<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Ministry of Forestry of the Republic of Belarus**CARBON BALANCE AT THE STAGE OF YOUNG STANDS FORMATION  
IN RELATION TO THE METHOD OF THE FINAL FELLING**

The dynamics of carbon flows in the formation of young stands after the final felling is considered. The objects of the study were those five areas of ripe plantations in the forest types of *Pineta callunosum* and *Pineta pleuroziosum*. The variations of non-clear cuttings with undergrowth preservation should be compared by assistance and care measures for natural regeneration, on the one hand, and clear cuttings with forest plantation development, on the other. It was identified that forest stands of natural origin differ in forest density, approximately, by 0.10–0.13 points. According to other valuation indicators they are equal. Over a 20-year period after felling, carbon sequestration on the pilot sites of non-clear cuttings is in 9 to 35 tC/ha above those of clear cuttings. «Emissions» of CO<sub>2</sub> after the export of harvested timber in the felling year in terms of non-clear cutting is approximately at 61.5% less than (from 96 to 170 tC/ha) on clear-cutting sites with forest plantation development. Subsequent «emissions» in general will be lower and it is distributed over the period of the age class duration. The annual absorption of carbon dioxide on the clear/non-clear cutting sites is analyzed by periods: before felling, in the year of felling, 5–10–15 and 20 years after felling. It is noted that the forestry sector of Belarus deserves carbon rent for free-used resource carbon – dioxide absorber. Non-clear cuttings are the ways to maintain a high level of carbon depositing function of forest.

**Key words:** carbon sequestration in forest, forest absorption of carbon dioxide, non-clear cuttings, forest regeneration methods, carbon rent.

**Введение.** Прогрессирующая в лесном фонде Беларуси динамика «стока» углекислого газа за последние шесть-семь десятилетий была обеспечена масштабными объемами лесоразведения/лесовосстановления и повышением продуктивности лесов. В условиях относительно

невысоких размеров лесопользования (из-за недостатка спелых лесов) имело место наращивание общих запасов насаждений, соответственно секвестрирование углерода и высокий уровень годичной абсорбции углекислого газа в лесном фонде Беларуси [1, 2, 3].

Сегодня ресурс увеличения лесистости практически исчерпан [4]. Объем заготовки древесины в предстоящие четыре-пять десятилетий будет приближаться к объему текущего прироста древесных запасов [5]. Последнее может привести к сокращению в четыре-пять раз годичной абсорбции углекислого газа в лесном фонде по сравнению с текущим периодом [6, 7].

Лесное хозяйство Беларуси является «отраслью-поглотителем» углекислого газа. В рамках прогнозируемой Парижским климатическим соглашением продаж «углеродных кредитов» реально рассчитывать на реализацию «карбонной ренты» как компенсацию за бесплатно используемый ресурс лесного хозяйства «потребителями-эмиттерами» углекислого газа. Чтобы карбонный поглощающий ресурс лесов Беларуси не стал дефицитом, лесное хозяйство должно искать пути поддержания высокого уровня углерододепонирующей функции леса. Решающую роль в увеличении «стока» углекислого газа будут играть мероприятия по повышению продуктивности лесов, современные технологии воспроизводства лесов и ухода за ними, природоохранные режимы использования болотных лесов и другие [8, 9, 1].

**Основная часть.** Исследования по динамике углерода при формировании молодых насаждений после главной рубки леса выполнены в соответствии с Техническим заданием при разработке Мероприятия 3.1.3.3 [10] в рамках «Проекта развития лесного сектора Республики Беларусь». Анализируются пять участков несплошных рубок главного пользования, частично или полностью завершённых формированием молодых насаждений естественного происхождения. На пробных площадях (ПП) рубок равномерно-постепенных (РПР), группово-постепенных (ГПР) и рубки обновления (РО) по приемам рубок в периоды один, пять, десять, пятнадцать и двадцать лет выполнены:

- таксация древостоев;
- оценка возобновления, подлеска и живого напочвенного покрова;
- учет заготовленной ствольной древесины и порубочных остатков при лесозаготовках;
- определение содержания углерода в надземной фитомассе;
- расчет годичной абсорбции углерода в надземной фитомассе.

Использовались традиционные для лесоводственно-таксационных исследований методики таксации, геоботанических обследований и оценки депонирования углерода лесами [11, 12].

В табл. 1 приведена упрощенная лесоводственно-таксационная характеристика исследованных насаждений, подвергнутых несплошным рубкам: ПП 1 – РПР «а»; ПП 1 – РПР «б»; ПП 2 – РПР; ПП 1 – ГПР; ПП 1 – РО.

*Четырехприемная равномерно-постепенная рубка в *Pineta callunosum** проведена в квартале 157 Негорельского лесничества на площади 4,6 га в периоды: первый прием – 1992 г., второй – 1999 г., третий – 2002 г. и заключительный прием – 2009 г. После первого приема рубки выполнены меры содействия естественному возобновлению: минерализация поверхности почвы (ПП 1 – РПР «а») и слабоинтенсивное огневое воздействие на напочвенный покров (ПП 1 – РПР «б»).

Результатом проведения равномерно-постепенной рубки с мерами содействия естественному возобновлению явилось формирование соснового древостоя состава, примерно 10 *Pin* + *Bet*/9*Pin*1*Bet*. Естественный древостой практически не уступает лесным культурам сосны 1994 г. На секции «б» со слабоинтенсивным огневым воздействием таксационные показатели древостоя выше. Это свидетельствует о положительном пирогенном воздействии на ход естественного возобновления в сосняках.

*Двухприемная равномерно-постепенная рубка (ПП 2 – РПР) *Pineta pleuroziosum** проведена в квартале 41 Негорельского лесничества в периоды: первый прием – 1989 г., заключительный – 1993 г. [13]. Общее количество подроста до рубки в условном 15-летнем возрасте составляло 5700 шт/га. Сохранность подроста после рубки составила 78%. Часть елового подроста с хорошими стволами и кроной была вырублена местными жителями в качестве «новогодних елей». Тем не менее, по исследованиям Д. В. Шимана [13], спустя пятнадцать лет после начала рубки на ПП 2 – РПР сформировался сосново-еловый древостой полнотой 0,88.

Выполненная в аналогичном древостое сплошная рубка с созданием в 1993 г. культур состава 6*Pic*4*Pin* способствовала формированию к 20-летнему периоду хорошего древостоя составом 3*Pic*3*Pin*3*Bet*1*Pop. tr.* и запасом 50 м<sup>3</sup>/га. Естественный древостой ПП 2 – РПР в 20-летнем возрасте по возрасту и запасу превышает лесные культуры благодаря сохраненному при рубке подросту исходного насаждения.

*Группово-постепенная рубка (ПП 1 – ГПР) в *Pineta pleuroziosum** проводится в квартале 130 Негорельского лесничества. К настоящему времени выполнено три приема рубки (2004, 2008 и 2019 гг.). По состоянию на сентябрь 2018 г. в сохранных куртинах подроста сформировался древостой с составом 8*Pin*1*Bet*1*Pop. tr.*, полнотой 0,6 и средним возрастом около 20 лет. На остальной территории участка формируется разновозрастной подрост (2–14 лет) густотой 6325 шт/га. Заключительный прием рубки прогнозируется в 2023 г.

Таблица 1

## Характеристика исследованных насаждений

ПП	Способ возобновления	Компонент насаждения	Состав, возраст, запас [м³/га]; периоды от начала рубки [лет]					
			До рубки	После 1-го приема рубки	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет
1 – РПР «а» без огневого воздействия	Естественное	Древостой	10Pin+Bet; 85/192	10Pin+Bet; 86/120	10Pin+Bet; 90/127	10Pin+Bet; 95/94	10Pin+Bet; 100/71	–
		Возобновление	–	Вырубка	6Pin4Bet; 4/7	6Pin4Bet; 9/19	6Pin4Bet; 14/38	10Pin+Bet; 18/67
	Искусственное	Древостой	10Pin+Bet; 85/192	Вырубка	–	–	–	–
		Лесные культуры	–	Вырубка	10Pin; 3/6	10Pin+Pic, Bet; 8/20	10Pin+Pic, Bet; 13/40	10Pin+Pic, Bet; 18(75)
1 – РПР «б» с огневым воздействием	Естественное	Древостой	10Pin+Bet; 85/192	10Pin+Bet; 86/120	10Pin+Bet; 90/127	10Pin+Bet; 95/94	10Pin+Bet; 100/71	–
		Возобновление	10Pin+Bet; 5/5	10Pin+Bet; 3/2	7Pin3Bet; 8/16	7Pin3Bet; 13/29	7Pin3Bet+ Pop; 18/52	9Pin1Bet; 23/84
	Искусственное	Древостой	10Pin+Bet; 85/192	Вырубка	–	–	–	–
		Лесные культуры	10Pin+Bet; 5/5	Вырубка	10Pin+Bet; 3/6	10Pin+Bet; 8/20	10Pin+Pic, Bet; 13/40	10Pin+Pic, Bet; 18/75
2 – РПР	Естественное	Древостой	6Pin4Pic+Bet; 105/233	6Pin4Pic+Bet; 105/107	6Pin4Pic+Bet; 110/119	–	–	–
		Возобновление	8Pic1Pin 1Bet; 15/20	8Pic1Pin 1Bet; 15/15	7Pic2Pin 1Bet; 20/25	7Pic2Pin 1Bet; 25/45	7Pic2Pin 1Bet; 30/69	7Pic2Pin 1Bet; 35/96
	Искусственное	Древостой	6Pin4Pic+ Bet; 105/233	Вырубка	–	–	–	–
		Лесные культуры	8Pic1Pin 1Bet; 15/20	Вырубка	5Pic4Pin 1Bet; 5/10	4Pic4Pin 2Bet; 10/20	3Pic3Pin 3Bet1Pop; 15/30	3Pic3Pin 3Bet1Pop; 20/50
1 – ГПР	Естественное	Древостой	9Pin1Pic+ Bet; 105/350	10Pin+Pic; 105/237	10Pin; 110/269	10Pin; 115/280	10Pin; 120/167	10Pin; 125/40
		Возобновление	9Pin1Pic+ Bet; 10/25	9Pin1Pic+ Bet; 10/20	8Pin1Pic1Bet; 15/28	10Pin+Bet; 20/35	10Pin+Bet; 25/43	10Pin+Bet; 30/60
	Искусственное	Древостой	9Pin1Pic+Bet; 105/350	Вырубка	–	–	–	–
		Лесные культуры	9Pin1Pic+ Bet; 10/25	Вырубка	10Pin+Bet; 4/6	10Pin+Bet; 9/16	10Pin+Bet; 14/30	10Pin+Bet; 19/60
1 – РО	Естественное	Древостой	6Pin4Pic; 112/393	6Pin4Pic; 112/144	6Pin4Pic; 117/150	–	–	–
		Возобновление	10Pin+Pic, Bet; 4/3	10Pin+Pic, Bet; 4/2	10Pin+Bet; 4/3	10Pin+Bet; 5/8	10Pin+* Bet; 10/23	10Pin+* Bet; 15/45
	Искусственное	Древостой	6Pin4Pic; 112/393	Вырубка	–	–	–	–
		Лесные культуры	10Pin+Pic, Bet; 4/3	Вырубка	10Pin; 4/5	10Pin+Bet; 9/16	10Pin+* Bet; 14/27	10Pin+* Bet; 9/47

\*Прогноз

\*\*Pin – *Pinus sylvestris*; Pic – *Picea abies*; Bet – *Betula verrucosa*; Pop – *Populus tremula*.

Таблица 2

**Сравнительная таксационная характеристика сосновых насаждений естественного возобновления и лесных культур первого класса возраста**

Тип леса	ГПЛХО Брестское (Брест), Могилевское (Могилев)	Происхождение по методу лесовосстановления: лесные культуры (ЛК), естественное возобновление (ЕВ)	Средние			
			Возраст, лет	Высота, м	Запас, м <sup>3</sup> на га	Состав по запасу
<i>Pineta callunosum</i>	Брест	ЛК	13	5	34	8Pin2Bet+Pic,Pop
		ЕВ	13	5	30	»
	Могилев	ЛК	15	4	33	»
		ЕВ	15	4	24	»
<i>Pineta vaccinosum</i>	Брест	ЛК	12	4	32	8Pin2Bet+Pic,Pop
		ЕВ	13	4	29	6Pin3Bet1Pop
	Могилев	ЛК	14	4	32	7Pin3Bet+Pic,Pop
		ЕВ	14	4	30	6Pin4Bet+Pic
<i>Pineta pleuroziosum</i>	Брест	ЛК	11	4	34	8Pin2Bet+Pic,Pop
		ЕВ	12	5	36	»
	Могилев	ЛК	13	4	37	»
		ЕВ	13	4	31	»
<i>Pineta pteridiosum</i>	Брест	ЛК	11	5	39	8Pin2Bet+Pic,Pop
		ЕВ	10	5	35	7Pin3Bet+Pic,Pop
	Могилев	ЛК	12	5	39	8Pin2Bet+Pic,Pop
		ЕВ	12	5	37	7Pin3Bet+Pic,Pop
<i>Pineta oxalidosum</i>	Брест	ЛК	11	5	35	6Pin3Bet1Pic+Pop
		ЕВ	9	4	26	5Pin3Bet1Pic1Pop
	Могилев	ЛК	10	3	24	6Pin2Bet1Pic1Pop
		ЕВ	8	3	23	5Pin3Bet1Pic1Pop
<i>Pineta myrtillosum</i>	Брест	ЛК	12	5	36	7Pin3Bet+Pic,Pop
		ЕВ	11	5	33	6Pin4Bet+Pic,Pop
	Могилев	ЛК	13	4	35	7Pin3Bet+Pic,Pop
		ЕВ	14	5	34	»

Рубка обновления (ПП 1 – РО) в *Pineta pleuroziosum* выполнена в два приема (2006 г. и 2010 г.). После первого приема рубки на участке сохранился благонадежный подрост в количестве 1500 шт/га. В 2007 г. было проведено содействие естественному возобновлению путем создания минерализованных полос. По состоянию на осень 2018 г. на стационаре ПП 1 – РО сформировалось молодое насаждение составом 8Pin1Bet1Pop, полнотой 0,8 и средним возрастом 6 лет. Древостой естественного возобновления по таксационным показателям практически не отличается от культур сосны 2007 г. создания.

Как видим, рост сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения на пробных площадях (табл. 1) существенно не различается. Это подтверждается нашими исследованиями на основе выборки из повыдельного фонда по Брестскому и Могилевскому ГПЛХО (табл. 2).

Основное различие связано с полнотой. Лесные культуры имеют, как правило, относительную полноту на 0,10–0,13 пунктов выше. Это

объясняется недостатком/отсутствием мероприятий по содействию естественному возобновлению на лесосеках, проектируемых после главной рубки под естественное возобновление. Такие лесосеки в целом чаще всего возобновляются мягколиственными породами. Ответственное отношение к таким лесосекам будет способствовать формированию качественных ценных насаждений, сокращению затрат на лесовосстановление. При этом также достигается выгода от поглощения углекислого газа на этапе «рубка – возобновление леса». Об этом свидетельствуют показатели на примере исследуемых опытных объектов (рисунок).

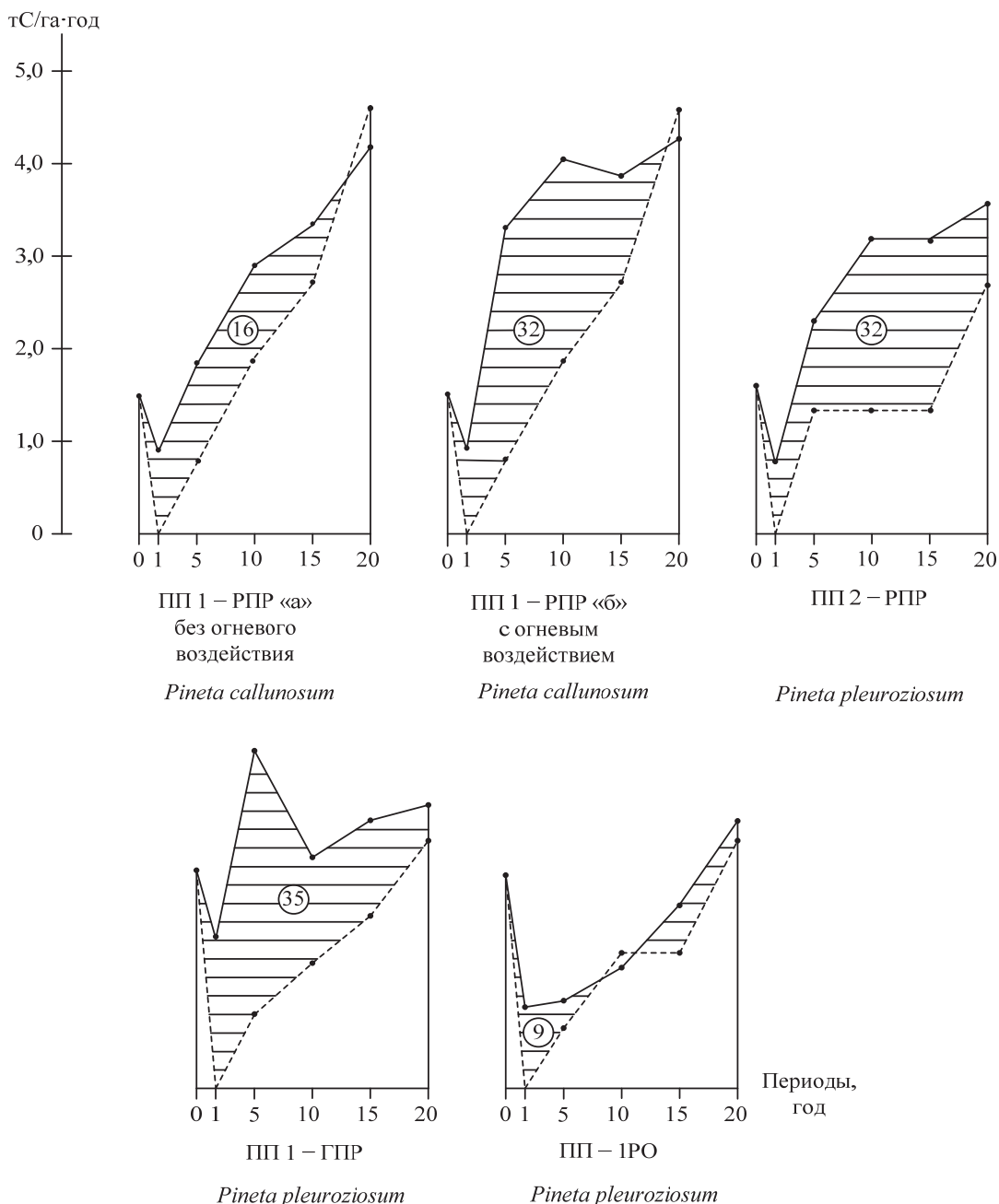
За 20-летний период от года проведения первого приема несплошных рубок и последующего формирования естественного возобновления секвестрация углерода относительно сплошной рубки и создания лесных культур превысила от 9 (ПП 1 – РО) до 35 (ПП 1 – ГПР) в эквиваленте тС/га. Применительно к поглощению (абсорбции) в эквиваленте тСО<sub>2</sub>/га-год динамика годичной абсорбции в разрезе периодов

(до рубки – первый год рубки – 5–10–15 и 20 лет после рубки) на исследуемых опытных объектах составила:

– несплошная рубка и естественное возобновление: (5,46–8,69) – (2,82–5,94) – (3,15–

12,10) – (4,77–14,81) – (4,30–14,15) – (10,67–15,54) [т CO<sub>2</sub>/га·год];

– сплошная рубка и создание лесных культур: (5,46–8,69) – 0,00 – (2,42–4,88) – (4,50–6,78) – (4,88–9,72) – (9,72–17,01) [т CO<sub>2</sub>/га·год].



— годичная абсорбция углерода на участке несплошной рубки;  
 - - - годичная абсорбция углерода на участке сплошной рубки;  
 0, 1, 5, 10, 15, 20 – период от года первого приема несплошной или года сплошной рубки;  
 [шaded area] – масса превышения за 20-летний период абсорбции углерода  
 участком несплошной рубки над сплошной, тС/га

Динамика годичной абсорбции углерода надземной фитомассой  
 за 20-летний период формирования молодого насаждения после главной рубки леса

При сплошной/несплошной рубке по-разному происходит «эмиссия» углекислого газа. «Эмиссия» обусловлена вывозом заготовленной при рубке древесины. При сплошной рубке в течение одного года вместе с вырубкой древостоя уничтожаются другие компоненты насаждения, что увеличивает «эмиссию» CO<sub>2</sub>. Для исследуемых опытных объектов «эмиссия» CO<sub>2</sub> в год рубки в вариантах несплошной рубки примерно на 61,5% (от 96 до 170 тС/га) была ниже, чем на участках сплошных рубок. «Эмиссия» от вырубке древесины на втором-четвертом приемах несплошной рубки «растягивается» на последующий (до 20 и более лет) период. Величина последующей «эмиссии» в целом будет меньше, как отмечено выше при оценке насаждения в части секвестрации углерода.

Приведенные показатели абсорбции рассчитаны для компонента наземной фитомассы (стволовая древесина, крона, живой напочвенный покров, подлесок). Абсорбция при несплошной рубке обеспечивается сохраняемыми по приемам рубки частью материнского древостоя, подростом, подлеском и живым напочвенным покровом, а также приростом фитомассы формируемого последующего возобновления. В случае сплошной рубки абсорбция обеспечивается только фитомассой вновь создаваемого последующего (после рубки) насаждения искусственного происхождения. На разницу абсорбции влияют наличие целевого подростка под пологом материнского древостоя, период рубки, количество приемов и интенсивность рубки по приемам, мероприятия по сохранению подростка, содействию и уходам за возобновлением. Величина абсорбции, безусловно, также зависит от технологии создаваемых лесных культур и их продуктивности. В этой связи позволим себе обратить внимание на следующее обстоятельство.

Страны мира ведут учет национального углеродного баланса. При этом определяется, является страна эмиттером или поглотителем CO<sub>2</sub>. Страны-эмиттеры исчерпали свои поглощающие ресурсы и обязаны, в интересах своего развития, расходовать средства на снижение выбросов.

Международными обязательствами странам-поглотителям, наравне со странами-эмиттерами, вменяется сокращать выбросы при желании развиваться дальше. Тогда для страны-поглотителя

вполне закономерно возникает вопрос: почему страны-эмиттеры бесплатно используют ресурс страны-поглотителя?

Закономерен вопрос оплаты за бесплатно используемый ресурс другой страны. Такова рациональная основа карбонной ренты, которая может стать одним из элементов ноосферной экономики [14].

Природные процессы, потребляющие CO<sub>2</sub> и сокращающие его концентрацию в атмосфере, становятся фактором производства. Естественный карбонный поглощающий ресурс становится дефицитом, потребительная стоимость поглотителя возрастает, поглощение углерода становится товаром.

Лесное хозяйство республики, как отрасль поглотителя углекислого газа, имеет основание претендовать на компенсацию затрат по поддержанию своей углерододепонирующей функции от других отраслей народного хозяйства, которые являются отраслями-эмиттерами парниковых газов.

Введение карбонной ренты будет способствовать соблюдению положений Министерской Декларации 24-й сессии Конференции сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций по изменению климата (СОР24) в Катовице (Польша). В Декларации признается важная роль лесов как поглотителей и резервуаров парниковых газов в смягчении последствий изменения климата, а также содержится обязательство ускорить действия к 2050 г. для поддержки осуществления Парижского соглашения.

**Заключение.** Применение обоснованных нормативов и технологий в части рубок главного пользования и лесовосстановления способствует формированию качественных ценных насаждений естественного происхождения. При этом возможно сокращение затрат на воспроизводство лесов и повышение экологической выгоды на этапе «рубка – возобновление леса». Последнее, к примеру, выражается в поддержании на более низком уровне «эмиссии» углекислого газа от вывоза заготовленной древесины при рубке; «эмиссия» при этом еще и «растягивается» на продолжительность одного (или более) класса возраста. Несплошные рубки – один из путей поддержания высокого уровня углерододепонирующей функции леса. Лесное хозяйство Беларуси заслуживает карбонной ренты за поглощение углекислого газа.

### Литература

1. Лесоуглеродный ресурс Беларуси / Л. Н. Рожков [и др.]. Минск: БГТУ, 2018. 247 с.
2. Рожков Л. Н. Устойчивое лесопользование и сокращение выбросов углекислого газа // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хозяйство. С. 97–99.
3. Рожков Л. Н. Оценка углеродного пула и динамика углеродных потоков в лесах Беларуси // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Гомель: Ин-т леса НАНБ, 2012. Вып. 72. С. 130–141.



4. Рожков Л. Н. Современные тенденции управления лесами Беларуси // Устойчивое лесопользование. 2016. № 3. С. 16–23.
5. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 год: утв. 23.12.2014, № 06/201–271. Минск, 2013. 20 с.
6. Багинский В. Ф. Прогноз депонирования углерода в стволовой древесине нормальных сосновых древостоев в связи с изменением климата // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Гомель: Ин-т леса НАНБ, 2013. Вып. 73. С. 371–378.
7. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Прогноз абсорбции атмосферного углерода на основе динамики лесопользования и лесного фонда Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 102–108.
8. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Некоторые проблемы адаптации лесного хозяйства Беларуси к изменению климата // Науковий вісник НЛТУ України. Вип. 19.14 Львів, НЛТУ, 2009. С. 7–11.
9. Шиман Д. В., Юшкевич М. В., Клыш А. С. Пути увеличения абсорбции парниковых газов лесами Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 42–47.
10. Контракт № BFDP/GEF/CQS/16/29–34/18 от 24.08.2018. Мероприятие 3.1.3.3 // Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Всемирный Банк / Проект развития лесного сектора Республики Беларусь от 02.04.2015.
11. Рожков Л. Н. Методологические подходы к оценке содержания углерода (абсорбция/эмиссия) при различных способах рубки и возобновления леса, удаления/неудаления порубочных остатков // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 17–23.
12. Рожков Л. Н. Углеродный баланс лесов: как рассчитать // Лесное и охотничье хозяйство. 2005. № 3. С. 26–29.
13. Модель формирования насаждения в результате проведения равномерно-постепенной рубки в сосняке мшистом / Шиман Д. В. [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2007. Вып. XV. С. 151–155.
14. Für eine gemeinwohlorientierte Gemeinsame Agropolitik der UE nach 2020. Grundsatzfragen und Empfehlungen. 2018.

### References

1. Rozhkov L. [et. al.]. Under the general editorship of L. Rozhkov, I. Voitau, A. Kulik. *Lesouglerodnyy resurs Belarusi* [Forest carbon Resource of Belarus]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 247 p.
2. Rozhkov L. N. Sustainable forest management and reduction of carbon dioxide emissions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry, pp. 97–99 (In Russian).
3. Rozhkov L. N. Estimation of the carbon pool and the dynamics of carbon flows in the forests of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forest science and silviculture]. Gomel, 2012, issue 72, pp. 130–141 (In Russian).
4. Rozhkov L. N. Current Trends in Forest Management in Belarus. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable Forest Management], 2016, no. 3. pp. 16–23 (In Russian).
5. *Strategicheskiy plan razvitiya lesokhozyajstvennoy otrasli na period s 2015 po 2030 god* [Strategic plan for the development of the forestry sector for the period from 2015 to 2030: approved 23/12/2014, № 06 / 201-271]. Minsk, 2013. 20 p.
6. Baginski V. F. Prediction of carbon sequestration in stem wood of normal pine stands in connection with climate change. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forest science and silviculture]. Gomel, 2013, issue 73, pp. 371–378 (In Russian).
7. Rozhkov L. N., Yeroshkina I. F. Prediction of atmospheric carbon absorption based on the dynamics of forest use and the forest fund of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2 (198), pp. 102–108 (In Russian).
8. Baginski V. F., Lapitskaya O. V. Some Problems of Belarusian Forestry Adaptation to Climate Change. *Navukoviy visnik NLTU Ukraini* [Volunteer Journal of NLTU of Ukraine]. Lviv, 2009, issue 19.14, pp. 7–11 (In Russian).
9. Shiman D. V., Yushkevich M. V., Klysh A. S. Ways to increase the absorption of greenhouse gases by forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no 1 (216), p. 42–47 (In Russian).
10. *Kontrakt № BFDP/GEF/CQS/16/29-34/18 ot 24.08.2018. Meropriyatiye 3.1.3.3. Ministerstvo lesnogo hozyaystva Respubliki Belarus', uchrezhdeniye obrazovaniya "Belorusskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet", Vsemirnyy Bank. Proyekt razvitiya lesnogo sektora Respubliki Belarus' ot 02.04.2015* [Contract no. BFDP/GEF/CQS/16/29-34/18 from 24.08.2018. Activity 3.1.3.3. Ministry of

forestry of the Republic of Belarus, educational Institution «Belarusian state technological University, world Bank/forest sector development Project of the Republic of Belarus» dated 02.04.2015].

11. Rozhkov L. N. Methodological approaches to the assessment of carbon content (absorption / emission) for various methods of cutting and renewing the forest, removal/removal of forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 17–23 (In Russian).

12. Rozhkov L. N. Forest carbon balance: how to calculate. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and Hunting], 2005, no. 3, pp. 26–29 (In Russian).

13. Shiman D. V. [et al.]. Model of plant formation as a result of uniform-gradual cutting in mossy pine forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2007, issue XV, pp. 151–155 (In Russian).

14. Für eine gemeinwohlorientierte Gemeinsame Agropolitik der UE nach 2020. Grundsatzfragen und Empfehlungen, 2018.

#### Информация об авторах

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

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

#### Information about the authors

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

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

Поступила 24.04.2019

УДК 630\*226+630\*64(476)

**В. В. Сарнацкий**Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича  
Национальной академии наук Беларуси**ОСНОВНЫЕ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ  
ПО ФОРМИРОВАНИЮ, ПОВЫШЕНИЮ ПРОДУКТИВНОСТИ  
И ОЗДОРОВЛЕНИЮ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ**

Показаны некоторые аспекты повышения эффективности выращивания еловых лесов, оздоровления и использования, восстановления древесных ресурсов в условиях обычной флуктуации экологических факторов и в связи с периодическим массовым усыханием ели в результате экстремального проявления засухи. Хозяйственные мероприятия дифференцированы по воздействию непосредственно на древостой и условия его произрастания. Организационно-технические мероприятия включают изменение режима функционирования лесохозяйственных предприятий, направленного на предотвращение ущерба от частичной потери качества стволовой древесины в совокупности с мероприятиями по преодолению, минимизации последствий этого стихийного явления, восстановлению древесных ресурсов насаждений.

**Ключевые слова:** еловый древостой, экология, засуха, аномальное усыхание ели, хозяйственные мероприятия по предотвращению ущерба, рациональному использованию, восстановлению древесных ресурсов, формированию и оздоровлению насаждений.

**V. V. Sarnatski**V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany  
of the National Academy of Sciences of Belarus**THE MAIN FORESTRY PRACTICES FOR FORMING,  
INCREASING OF PRODUCTIVITY AND IMPROVEMENT SPRUCE STANDS  
IN THE CONDITIONS OF BELARUS**

Some aspects of increasing the efficiency of growing spruce forests, improving and using, restoring wood resources under conditions of the usual fluctuations of ecological factors and in connection with the periodic mass drying of spruce as a result of extreme drought are shown. Economic measures are differentiated by the impact directly on the tree stand and the conditions for its growth. Organizational and technical measures include changing the mode of operation of forestry enterprises, aimed at preventing damage from partial loss of stemwood quality in aggregate with measures to overcome, minimize the consequences of this natural phenomenon, and restore tree plantation resources.

**Key words:** spruce stand, ecology, drought, anomalous drying up of spruce, economic measures to prevent damage, rational use, restoration of tree resources, the formation and improvement of stands.

**Введение.** Ельники – важный компонент лесной растительности, имеющий экономическое, климаторегулирующее, средообразующее, природоохранное значение, и они, как и другие фитоценозы, подвержены интенсификации антропогенного воздействия и периодическому экстремальному проявлению экологических факторов. На основании понимания происходящего в этих условиях лесоводам следует применять те или иные виды мероприятий, направленных, прежде всего, на оздоровление, повышение продуктивности, устойчивости лесов к воздействию неблагоприятных абиотических и биотических факторов с учетом основных целей ведения хозяйства и экономических условий. В результате антропогенных сукцессий породный состав, структура древостоев претерпели значительные изменения. На смену высокопродуктивным и хозяйственно ценным лесам (хвойным, дубовым,

ясеневым) во многих случаях выросли мелколиственные фитоценозы, требующие реконструкции. Аномальное усыхание ельников, наблюдаемое на рубеже XX–XXI стст., обуславливает некоторое снижение запасов спелой древесины и уменьшение площади еловых лесов в результате проведения сплошных санитарных рубок. Вывозка древесины, переработка и разбрасывание, складирование в кучи или сжигание порубочных остатков, разрушение подлеска и напочвенного покрова при лесозаготовительных работах приводят к потере органического вещества, азота и зольных элементов в почве, ухудшению лесорастительных условий.

Проведение сплошных и выборочных санитарных рубок в случае массового усыхания деревьев не решает вопроса об улучшении качества и продуктивности лесов. Это необходимо учитывать при лесовосстановлении и формировании

нового поколения лесов, уходе за сохранившимися после частичного усыхания древостоями, оздоровлении и повышении их продуктивности. Следует планировать восстановление, формирование лесов оптимальной породной структуры, введение почвоулучшающих кустарниковых и травяных растений, проведение реконструкции малоценных молодняков и низкополнотных средневозрастных древостоев, повышение пожаро- и биологической устойчивости лесов, предотвращение ущерба, причиняемого насекомыми и болезнями.

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

**Основная часть.** В зависимости от природных, экономических и других условий или ситуаций могут быть подобраны наиболее приемлемые

мероприятия по использованию древесных ресурсов, их восстановлению, повышению продуктивности и качественного состава лесов, оздоровлению древостоев на различных этапах их формирования. И. С. Мелеховым, Б. Д. Жилкиным и другими исследователями [1–21] предложены системы мероприятий по повышению продуктивности лесов, направленные на рациональное их использование, борьбу с потерями древесной продукции, улучшение технологии лесоводства, ускорение восстановления и формирования древостоев.

После внесения соответствующих корректив в предложенные группы мероприятий применительно к ельникам можно рекомендовать следующие мероприятия по повышению продуктивности и оздоровлению древостоев (табл. 1 и 2). Каждая группа включает ряд конкретных мероприятий и подходов. Успех или неудача при достижении цели во многом зависят от условий местопроизрастания, лесоводственно-таксационной характеристики древостоев, качества выполнения и методов производства работ. В каждом типе леса мероприятия одного вида должны проводиться по-разному. Это связано с разнообразием лесорастительных условий и другими обстоятельствами.

Таблица 1

**Мероприятия по повышению продуктивности и оздоровлению еловых древостоев**

Мероприятие	Типы и эдафотопы еловых лесов							
	Е. мшистый, В <sub>2</sub>	Е. орляковый, С <sub>2</sub>	Е. черничный, С <sub>3</sub>	Е. долгомошный, В <sub>4</sub>	Е. кисличный, Д <sub>2</sub>	Е. снежный, Д <sub>3</sub>	Е. крапивный, Д <sub>4</sub>	Е. папоротниковый, С <sub>4</sub>
Применение оптимальных способов рубок главного пользования	+	+	+	+	+	+	+	+
Сохранение подроста при лесозаготовке	+	+	+	–	+	+	+	–
Комплексное использование древесины (рациональная раскряжевка, заготовка технологической щепы, использование отходов)	+	+	+	+	+	+	+	+
Своевременное облесение вырубок	+	+	+	+	+	+	+	+
Отбор деревьев с хозяйственно ценными свойствами (ветро-, засухоустойчивость), селекция, гибридизация, семеноводство	+	+	+	+	+	+	+	+
Использование смены пород	+							
Подбор главных пород в соответствии с лесорастительными условиями	+	+	+	+	+	+	+	+
Формирование оптимальной породной структуры	+	+	+		+			
Введение почвоулучшающих древесных, кустарниковых и травяных растений	+	+	+	–	+	–	–	–
Внесение органико-минеральных удобрений	+	+	+	–	–	–	–	–
Проведение лесосушительных мелиораций						–	+	+
Применение оптимальной системы рубок ухода	+	+	+	+	+	+	+	+
Своевременное проведение санитарных рубок	+	+	+	+	+	+	+	+
Предупреждение лесных пожаров, борьба с вредителями и болезнями	+	+	+	+	+			
Высококачественное выполнение всех лесохозяйственных мероприятий	+	+	+	+	+	+	+	+

**Мероприятия по улучшению условий местопроизрастания, повышению продуктивности и оздоровлению ельников**

Тип леса, ассоциация	Улучшение условий местопроизрастания							Улучшение самих древостоев					
	Эдафотоп	Введение почвоулучшающих растений	Осушительная мелиорация	Известкование	Минеральные удобрения	Торфование	Рыхление почвы	Селекция, гибридизация, семеноводство	Повышение густоты низкополотных древостоев	Введение нижних ярусов	Рубки ухода	Введение наиболее продуктивных пород и форм	Выборка свежесаживаемых деревьев и обработка пней
Е. мшистый, Е. брусничный	V <sub>2(3)</sub>	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Е. орляковый	C <sub>2</sub>	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+
Е. кисличный	D <sub>2</sub>	+		+	+			+	+	+	+	+	+
Е. черничный	C <sub>3</sub>	+		+	+			+	+	+	+	+	+
Е. долгомошный	V <sub>4</sub>		+					+		+			+
Е. осоково-сфагновый	V <sub>5</sub>		+					+		+			+
Е. крапивно-снытевый	D <sub>3(4)</sub>							+		+	+	+	+
Е. приручейно-травяной, Е. поротниковый	C <sub>4(5)</sub>		+					+		+	+	+	+

Необходимо отметить, что ель сильно повреждается низовыми пожарами, поэтому противопожарные мероприятия являются важным средством в формировании высокопродуктивных и устойчивых к неблагоприятным воздействиям еловых фитоценозов.

Мероприятия по рациональному использованию древесных ресурсов, естественному и искусственному восстановлению еловых лесов, формированию, повышению продуктивности и оздоровлению древостоев следует планировать и проводить с учетом новейших достижений науки и лесохозяйственной практики, строгого соблюдения действующих в лесном хозяйстве нормативных документов.

Анализируя опыт восстановления еловых лесов с использованием свойств самосева и подроста под пологом древостоев и путем создания лесных культур, следует отметить, что совершенствование технологий несплошных рубок главного пользования [10] позволило получить неплохие результаты в воспроизводстве коренного лесообразователя. Достигнутые результаты получены в ситуации, когда древостои отведены в рубку главного пользования в возрасте 80 лет и старше, когда ель уже достигла возраста половозрелости, обильного семеношения и урожайности шишек, которые, согласно результатам исследований П. П. Попова, Л. Ф. Правдина, Н. И. Казмирова,

А. Ф. Чмыра, В. Г. Чертовского и других исследователей [3, 7, 8, 18, 19], наступают в сомкнутых древостоях в возрасте 60 лет и старше.

Существующие утверждения специалистов лесохозяйственного производства и отдельных исследователей о необходимости уменьшения возраста главной рубки еловых древостоев с 80 до 60 лет в связи с их периодическим массовым усыханием не имеют под собой биологического обоснования, и это обусловит появление крупных проблем в сохранении качества семян, успешности восстановления еловых лесов.

Результаты исследований показали, что лесные культуры, созданные на вырубках, а также на землях бывшего сельскохозяйственного использования в первые два десятилетия представляют собой в своем большинстве мелколиственные древостои с преимущественно мозаичным размещением по площади самосева и частично прижившихся в бороздах и (или) на их гребне культур ели. После смыкания древесного полога и в силу природно-прогрессивной роли ели в формировании лесов, динамика формирования ельников и насаждений с участием ели в составе древостоя в постзасушливые годы в условиях обычной (не экстремальной) флуктуации экологических факторов не имеет существенных различий в сравнении с традиционными технологиями выращивания лесов будущего.

В сомкнутых молодняках и древостоях старшего возраста ель формирует световую, полутеневую и теневую хвою. Их морфологические, анатомические признаки имеют различия, равно как и физиологические процессы, протекающие в ней. Установлено, что крона ели, имеющая 30% и более теневой хвои, выставленная в результате изреживания древесного полога по тем или иным причинам под воздействие прямых солнечных лучей (интенсивные рубки ухода в средневозрастных и приспевающих насаждениях, выборочные санитарные рубки, рубка просек под электролинии и газопроводы, дороги, ветровал, снеголом, усыхание соседних деревьев, несплошные рубки главного пользования и т. д.) в средневозрастном, приспевающем и более старшем возрасте древостоя в последующие годы, как правило, постепенно сбрасывает хвою, и дерево усыхает.

Ситуацию с повреждением кроны в подобных случаях усугубляет и проявление так называемого «солнечного ожога» в результате существенного изменения освещенности и микроклимата (теплового режима кроны и ствола дерева). Упомянутые выше и другие совокупные закономерности функционирования нарушенных еловых экосистем до настоящего времени обстоятельно не изучены и являются актуальной задачей дальнейших исследований.

Результаты исследований особенностей проведения рубок ухода, наиболее 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 лиственных 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.

Периодически повторяющаяся экстремальная экологическая ситуация (засуха, ветровал, снеголом и другие явления) обуславливает необходимость изменения обычного режима функционирования лесохозяйственного производства и технологии выращивания лесов с целью преодоления, минимизации ее последствий, эффективность которого определяется реакцией древостоя на действие повреждающих факторов и оперативностью работы лесохозяйственного производства.

Ельники отводятся в сплошную санитарную рубку, если выборочные санитарные рубки не могут их оздоровить, что приводит к расстройству. В сплошную санитарную рубку также назначаются древостои, в которых после проведения выборочной санитарной рубки продолжается интенсивное усыхание деревьев; деревья усыхают без признаков ослабления, дефолиации и дехромации кроны. За смежными древостоями устанавливается наблюдение, в случае необходимости производится выборка сильно ослабленных и свежеселенных деревьев, а также уборка захламленности.

Технологические особенности и составляющие элементы реализации комплекса организационно-технических, хозяйственных мероприятий 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 последствия и т. д.).

В ослабленных и усыхающих ельниках проводится детальное лесопатологическое обследование путем закладки пробных площадей, на которых осуществляется сплошной перебор деревьев с распределением их по шести категориям состояния. Отдельно учитывают ветровал, снеголом, бурелом, а также заселенные и отработанные вредителями и поврежденные болезнями деревья. Целесообразно проведение следующих санитарно-оздоровительных мероприятий: надзор за состоянием еловых древостоев; выборочные санитарные рубки; сплошные санитарные рубки; очистка леса от захламленности; мероприятия по защите заготовленной древесины от вредителей и гнилей.

Выбор санитарно-оздоровительного мероприятия в ельнике зависит от его состояния, количества сильно ослабленных, усыхающих и усохших деревьев в древостое. Уборка захламленности проводится, как правило, одновременно с выборочной санитарной рубкой или как самостоятельное мероприятие при наличии ликвидной древесины в виде бурелома, ветровала, снеголома и старого сухостоя. В местах вывала леса в первую очередь убирают участки свежего валежника для предотвращения возникновения очагов стволовых вредителей.

В условиях интенсивного лесохозяйственного производства массовое размножение (превышающее уровень вредоносности) стволовых и других вредителей леса, в том числе и елового,

кроме экстремального проявления засухи, бурелома и других неблагоприятных факторов, является следствием лесоводственных ошибок, недостатков системы мониторинга и защиты леса, неразвитости приманочных и других методов ограничения их численности.

Очистка мест рубок производится путем складирования порубочных остатков в небольшие кучи с последующей переработкой, сжиганием или измельчением их и равномерным разбрасыванием по площади участка. Складирование сучьев или их сжигание производится в местах без подроста или на волоках. Подобные мероприятия необходимо осуществлять с учетом особенностей размножения короедов, поскольку порубочные остатки текущего года в некоторых ситуациях могут использоваться короедами (например, вершинным короедом) для выведения потомства.

Сжигание порубочных остатков уничтожает хищников, паразитов типографа и других короедов, патогенные для насекомых-вредителей леса организмы грибного, бактериального происхождения. Кроме того, поверхностная корневая система ели нередко повреждается кострищами, что также приводит к ослаблению защитных свойств ели уже в постзасушливые годы и ее усыханию. Это мероприятие не способствует существенному уменьшению численности короеда-типографа и снижает устойчивость елового древостоя к биотическим, абиотическим неблагоприятным воздействиям.

Заготовленная при проведении санитарных рубок древесина должна быть вывезена из леса в течение 10 дней после окончания рубки в весенне-летний период и до 15 апреля при осенне-зимней заготовке. В случае ее хранения в лесу производится полная окорка (с сжиганием или закапыванием коры в землю) или химическая обработка древесины. При интенсивной выборке и при отсутствии жизнеспособного подроста одновременно с рубкой проводятся меры воздействия естественному возобновлению.

Становление рыночных отношений в экономике определяет актуальность уменьшения материальных, финансовых и трудовых затрат на заготовку древесины и другой продукции леса, восстановление древесных ресурсов и выращивание насаждений. Кроме обеспечения рационального использования древесных ресурсов, важное функциональное назначение рубок леса – способствовать восстановлению и формированию древостоев.

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 лиственных древостоев, снижения технических свойств стволовой древесины путем *вырубки сильно ослабленных, усыхающих деревьев до того, как они усохнут*.

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 несколько увеличивает затраты на заготовку древесины в сравнении со сплошными санитарными рубками, однако они являются неотъемлемым компонентом рационального природопользования.

На фоне снижения затрат на заготовку древесины, восстановление древесных ресурсов и выращивание лесов в соответствии с законами рыночных отношений потребуются комплекс лесохозяйственных мероприятий по повышению продуктивности и устойчивости древостоев, ускоренному целевому [20] выращиванию тех или иных сортиментов и древесных пород. Заслуживает внимания опыт [10] применения несплошных рубок главного пользования лесом с целью использования полезных свойств самосева и подроста в восстановлении древостоев.

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

С целью снижения затрат на восстановление и выращивание насаждений вырубки на гидроморфных и в некоторых случаях на полугидроморфных почвах целесообразно оставлять под естественное зарастание с последующим уходом за древостоем. Типы лесных культур, их породный состав определяются почвенно-гидрологическими условиями и категорией лесокультурной площади.

**Заключение.** Пути повышения эффективности восстановления, выращивания лесов различны. Важным моментом в выборе стратегии и тактики хозяйствования в лесу является учет фазы развития очагов стволовых вредителей и патогенных организмов (начальная, пиковая, затухание). Технологические особенности

и элементы комплекса организационно-технических, хозяйственных мероприятий во многом находятся в зависимости от показателей отклонения экологических факторов от нормы и его фазы (начало воздействия экстремального проявления климатических, погодных условий на состояние древостоя, максимум, затухание, период последствий и т. д.).

Существующие технологии лесопатологического и не только лесопатологического мониторинга позволяют выявить ухудшение состояния древостоя с некоторым запаздыванием. Это обуславливает накопление значительного количества ослабленных, сильно ослабленных, усыхающих и сухостойных деревьев, имеющих диффузно-рассеянное, куртинно-групповое (или их сочетание) распределение по площади таксационного выдела, а запасы сухостойной древесины в лесном фонде составляют миллионы кубических метров, что снижает эффективность лесохозяйственного производства.

Приступая к краткому обобщению комплекса организационно-технических, хозяйственных мероприятий, проводимых в нарушенных ельниках, следует отметить, что в начальной фазе повреждения, усыхания (в том числе и аномального) дерево реализует защитные возможности организма и переносит стресс без проявления необратимых (в том числе и внешне видимых) изменений. Во второй фазе дерево противостоит стрессу с использованием защитных механизмов (появляются внешне видимые повреждения кроны, ствола дерева), отмечается адаптация организма с перестройкой метабо-

лизма и в третьей – ель либо устраняет последствия стресса, нормализует функционирование механизмов защиты и адаптации, вызванное стрессом, восстанавливает повреждения либо усыхает. Основной задачей рационального природопользования становится его вырубка до того момента, как оно усохнет.

Своевременное проведение рубок ухода, санитарных рубок в древостое, несомненно, способствует улучшению санитарного состояния насаждения и рациональному использованию древесных ресурсов. Комплекс организационно-технических, хозяйственных мероприятий включает выполнение следующих работ: надзор за состоянием ельников, компонентами которого являются разработанная нами в последние годы технология так называемого рекогносцировочного обследования древостоев с использованием критериев ранней диагностики ухудшения состояния деревьев и их выборкой до того, как они усохнут [4, 6, 9, 12–14], лесопатологический мониторинг; выборочные санитарные рубки; сплошные санитарные рубки; очистка леса от захламленности, мероприятия по защите заготовленной древесины от вредителей и гнилей; восстановление древесных ресурсов, мероприятия по повышению продуктивности и устойчивости насаждений.

Выбор оздоровительного мероприятия в ельнике зависит от его состояния, полноты древостоя и количества ослабленных, сильно ослабленных, усыхающих и усохших деревьев. В местах вывала деревьев в первую очередь убирают участки свежего валежника для предотвращения опасности возникновения очагов стволовых вредителей и фитопатогенных организмов.

### Литература

1. Жилкин Б. Д. Опыт разработки мероприятий по повышению продуктивности лесонасаждений // Повышение продуктивности лесов западных и центральных районов СССР. Минск: Изд-во М-ва высш., сред. специального и проф. образования БССР, 1962. С. 15–34.
2. 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 / Белорусский государственный технологический университет; рук. Н. И. Федоров. № ГР 1995999. Минск, 1998. 281 с.
3. Казимиров Н. И. Ель. М.: Лесная пром-сть, 1983. 81 с.
4. 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. № ГР 20142605. Минск, 2016. 100 с.
5. Мелехов И. С. Лесоводство. М.: Агропромиздат, 1989. 302 с.
6. 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. № ГР 20031986. Минск, 2005. 147 с.
7. Попов П. П. Ель на востоке Европы и в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1999. 169 с.
8. Правдин Л. Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 178 с.



9. 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. № ГР 20064899. Минск, 2009. 292 с.

10. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Воспроизводство коренного лесобразователя в процессе несплошной рубки // Труды БГТУ. 2016. № 1 (183): Лесное хозяйство. С. 61–64.

11. Сарнацкий В. В. Влияние комплексного ухода на формирование и продуктивность ельников Белоруссии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Минск, 1984. 18 с.

12. Сарнацкий В. В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхналогія, 2009. 334 с.

13. Сарнацкий В. В. К повышению эффективности использования и восстановления ресурсов нарушенных древостоев в условиях Беларуси // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Института леса Национальной академии наук Беларуси. Гомель, 2016. Вып. 76. С. 104–111.

14. Сарнацкий В. В. Особенности проведения лесохозяйственных мероприятий в еловых лесах в связи с их массовым усыханием // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Института леса Национальной академии наук Беларуси. Гомель, 2001. Вып. 53. С. 104–109.

15. Сарнацкий В. В. Лесоводственно-экологические основы формирования, повышения продуктивности и устойчивости еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим массовым усыханием: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.03. Гомель, 2004. 42 с.

16. 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 науч. центр РАН, 2000. С. 252–291.

17. Федоров Н. И., Сарнацкий В. В. Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим массовым усыханием. Минск: Тэхналогія, 2001. 180 с.

18. Чертовской В. Г. Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесная пром-сть, 1978. 176 с.

19. Чмыр А. Ф. Биологические основы восстановления еловых лесов южной тайги. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 160 с.

20. Штукин С. С. Леса для качества жизни // Лесное и охотничье хозяйство. 2007. № 11. С. 10–14.

21. Schmidt-Vogt H. Die Fichte. Bd. 2/2. Krankheiten. Schaden. Fichtensterben. Hamburg; Berlin, 1989. 607 s.

## References

1. Zhilkin B. D. Experience in the development of measures to improve the productivity of afforestation. *Povysheniye produktivnosti lesov zapadnykh i tsentral'nykh rayonov SSSR* [Increase the productivity of forests in the western and central regions of the USSR]. Minsk, 1962, pp. 15–34 (In Russian).

2. Fedorov N. I. *Izuchit' prichiny usykhaniya yeli v lesakh Belarusi i razrabotat' kompleks nauchno obosnovannykh meropriyatiy po snizheniyu poter' delovoy drevesiny i povysheniyu ustoychivosti yel'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, no. SR 1995999. 281 p. (In Russian).

3. Kazimirov N. I. *Yel'* [Spruce]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 81 p.

4. Sarnatski V. V. *Lesovodstvenno-ekologicheskiye osnovy strategii khoziaystvovaniya v narushennykh yel'nikakh* [Forest-ecological fundamentals of the management strategy in disturbed spruce forests]. Minsk, 2016, no. GR 20142605. 100 p. (In Russian).

5. Melekhov I. S. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 302 p.

6. Sarnatskiy V. V. *Osobennosti funktsionirovaniya lesnykh drevostoyev 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, no. SR 20031986. 147 p. (In Russian).

7. Popov P. P. *Yel' na vostokeyevropy i v Zapadnoy Sibiri* [Spruce in Eastern Europe and Western Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999. 169 p.

8. Pravdin L. F. *Yel' yevropeyskaya i yel' sibirskaya v SSSR* [European spruce and Siberian spruce in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 178 p.

9. Sarnatski 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, no. SR 20064899. 292 p. (In Russian).

10. 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).

11. Sarnatski V. V. *Vliyaniye kompleksnogo ukhoda na formirovaniye i produktivnost' yel'nikov Belorussii. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [The influence of complex care on the formation and productivity of spruce forests in Belarus. Abstract of thesis cand. of agricult. sci.]. Minsk, 1984. 18 p.

12. Sarnatski V. V. *Yel'niki: formirovaniye, povysheniye produktivnosti i ustoychivosti v usloviyakh Belarusi* [Spruce forests: development, raising of productivity and stability in Belarus]. Minsk, Tekhnalogiya Publ., 2009. 334 p.

13. Sarnatski V. V. To increasing the efficiency of using and restoring the resources of disturbed stands in the conditions of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forest science and silviculture], 2016, vol. 76, pp. 104–111 (In Russian).

14. Sarnatski V. V. Features of forest management activities in spruce forests in connection with their mass shrinkage. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forest science and silviculture], 2001, vol. 53, pp. 104–109 (In Russian).

15. Sarnatski V. V. *Lesovodstvenno-ekologicheskiye osnovy formirovaniya, povysheniya produktivnosti i ustoychivosti yelovykh lesov Belarusi v svyazi s ikh periodicheskim massovym usykhaniyem. Avtoref. dis. doktora biol. nauk* [The silvicultural and ecological basis of formation, increase in productivity and sustainability of spruce forests of Belarus in connection with their periodic mass drying. Abstract of thesis doct. of biol. sci.]. Gomel, 2004. 42 p.

16. 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.

17. Fedorov N. I., Sarnatski V. V. *Osobennosti formirovaniya yelovykh lesov Belarusi v svyazi s ikh periodicheskim massovym usykhaniyem* [The features of forming spruce forests in Belarus in the context of their]. Minsk, Tekhnalogiya Publ., 2001. 180 p.

18. Chertovskoy V. G. *Yelovyye lesa yevropeyskoy chasti SSSR* [Spruce forests of the European part of the USSR]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 176 p.

19. Chmyr A. F. *Biologicheskiye osnovy vosstanovleniya yelovykh lesov yuzhnoy taygi* [Biological bases of restoration of spruce forests of southern taiga]. Leningrad, Izdatel'stvo LGU Publ., 1977. 160 p.

20. Shtukin S. S. Forests for quality of life. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2007, no. 11, pp. 10–14 (In Russian).

21. Schmidt-Vogt H. Die Fichte. Bd. 2/2. *Krankheiten. Sahden. Fichtensterben*. Hamburg; Berlin, 1989. 607 p.

### 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

**Sarnatski 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 the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus), E-mail: sarnatsky1@tut.by

Поступила 03.01.2019

УДК 581.552:574.42(476)

**І. М. Сцепановіч**

Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча НАН Беларусі

**АДНАЎЛЕНЧЫЯ СУКЦЭСІІ ДРЭВАВА-ХМЫЗНЯКОВАЙ РАСЛІННАСЦІ  
НА ЛУГАХ, БАЛОТАХ І ПОСТСЯЛІБНЫХ ТЭРЫТОРЫЯХ БЕЛАРУСІ**

На падставе шматгадовых маршрутна-дэталёвых геабатанічных і маніторынговых даследаванняў аналізуецца сукцэсійны працэс у раслінным покрыве краіны. Асабліва актыўныя дынамічныя змены назіраюцца на былых сямлібных тэрыторыях, сухадольных лугах і асушаных балотах. Хуткасць пашырэння дрэвава-хмызняковай расліннасці – 6,3% плошчы за год. Ключавым фактарам, які выклікае дэградацыю травяністай расліннасці і спрыяе пашырэнню дрэў і хмызнякоў, з’яўляецца парушэнне рэжыму гаспадарчага выкарыстання ўгоддзяў. Кірункі і інтэнсіўнасць зменаў, структура і відавы склад дамінантаў сукцэсійных супольніцтваў перш за ўсё залежаць ад глебава-гідралагічных умоў і наяўнасці насеннага фонду. Выяўлены піянеры натуральнага ўзнаўлення лясной і дрэвава-хмызняковай расліннасці: на былых сямлібных землях, як правіла, у сукцэсійным працэсе першыняваюць інтрадукаваныя віды, сярод якіх пераважаюць інвазійныя (*Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Sambucus racemosa*, *Sorbaria sorbifolia* і інш.), на аддаленых адкрытых тэрыторыях – расліны мясцовых прыродных супольніцтваў адпаведных экасістэм. Асноўныя фактары, якія спрыяюць распаўсюджанню хмызнякоў і лесаўзнаўленню на лугах, балотах і постсялібных тэрыторыях: спыненне сенакашэння, нерэгламентаваны выпас жывёлы, адсутнасць належных мерапрыемстваў па доглядзе травяных ўгоддзяў, пасадкі лясных культур.

**Ключавыя словы:** лясная і дрэвава-хмызняковая расліннасць, аднаўленчыя сукцэсіі, лугі, балоты і постсялібныя тэрыторыі, Беларусь.

**I. M. Stepanovich**V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany  
of the National Academy of Sciences of Belarus**THE REGENERATIVE SUCCESSIONS OF TREES AND SHRUBS OF VEGETATION  
ON MEADOWS, MARSHES AND FORMER RESIDENTIAL AREAS OF BELARUS**

Based on years of detailed route-geobotanical and monitoring research there was analyzed succession process in the vegetation cover of the country. Especially active dynamic changes are observed on the former residential areas, meadows and drained mires. Expansion rate of trees and shrubs in the area is about 6.3% per year. The key factor that causes degradation of herbaceous vegetation and enhances tree and shrub expansion is violation of the regime of economic use of the lands. Directions and intensity of changes, structure and composition of dominant succession of communities first of all depends on soil and water conditions and the availability of seed stocks. There were identified pioneers of natural recovery of forest and tree-shrub vegetation: on the former residential areas in the succession process, usually, introduced species are the leaders, which are dominated by invasive species (*Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Sambucus racemosa*, *Sorbaria sorbifolia*, and others.); on the remote open areas – plants of local natural communities of the related ecosystems are the pioneers. The main factors contributing to the spread of shrubs and reforestation in the meadows, swamps and former residential areas: cessation of mowing, unregulated grazing, lack of appropriate measures for the care of the grasslands, planting of forest crops.

**Key words:** forest and tree-shrub vegetation, regenerative successions, meadows, marshes and former residential areas, Belarus.

**Уводзіны.** Паводле звестак Дзяржаўнага камітэта па маёмасці Рэспублікі Беларусь [1], у структуры зямельных угоддзяў краіны расліннае покрыва займае 19,6 млн га, або 94,5% тэрыторыі. Прыродныя раслінныя супольніцтвы сукупна ахопліваюць 13,2 млн га, або 63,4% тэрыторыі, і прадстаўлены лясамі (8773,5 тыс. га, або 42,3%), лугамі (2653,1 тыс. га, або 12,8%), балотамі (812,2 тыс. га, або 3,9%), хмызнякамі (832,5 тыс. га, або 4,0%) і прыбярэжна-воднымі цэнозамі (92,2 млн га, або 0,4%).

Прыродная травяністая расліннасць краіны, як і лясной зоны, за выключэннем паплавоў буйных рэк, як вядома, другаснага паходжання. Свайму існаванню на водападзеллах і ў далінах малых рэк і азёр яна абавязана ў абсалютнай большасці гаспадарчай дзейнасці чалавека. Спыненне ці зніжэнне, у прыватнасці, сенажацева-пашавага выкарыстання ўгоддзяў выклікае аднаўленчыя сукцэсіі, канцавым вынікам якіх будуць дрэвава-хмызняковыя і лясныя фітацэнозы. Асабліва актыўнае аднаўленне іх адбываецца на закінутых

лугах, выпрацаваных тарфяніках, старамеліярацыйных картах і постсялібных тэры-торыях.

Сукцэсія (ад лац. *successio* – пераемнасць, спадчыннасць) – паслядоўная змена экасістэмы (у больш вузкім сэнсе – змена складу біяцэнозу) у выніку дзеяння вонкавых і ўнутраных прычын. У працэсе сукцэсіі фармуецца (або аднаўляецца) адносна ўстойлівае супольніцтва, якое знаходзіцца ў стане дынамічнай раўнавагі з асяроддзем. Сукцэсія называецца першаснай, калі яна пачынаецца з фармавання біяцэнозу (фітацэнозу) на незаселенай прасторы (на пячаных выдмах, горных пародах, аголеных у выніку эрозіі глебах і інш.). Калі ж яна пачынаецца на прасторы, з якой выдалены важнейшыя часткі ранейшага біяцэнозу (напрыклад, пажарамі, ветраваламі, навадненнямі і г. д.), то называецца другаснай. Вылучаюць таксама прыродна абумоўленыя (энда- і экзогенныя) і антрапагенныя сукцэсіі. Апошнія развіваюцца пад уздзеяннем гаспадарчай дзейнасці чалавека (высечкі лесу, разорванне земляў, выпас жывёлы і г. д.) і найбольш пашыраны ў сучасных умовах. У любым выпадку прастора асвойваецца гэтак званымі першапачаснымі (піянерамі). Дрэвавыя віды – тыповыя піянеры – маюць лёгкае насенне, якое распаўсюджваецца ветрам (радзеі птушкамі, іншымі жывёламі) на значныя адлегласці. У іх кароткі перыяд індывідуальнага развіцця, хуткі рост у вышыню і развіццё пры высокай асветленасці, лёгкая ўзнаўляльнасць і высокая хуткасць захопу рэсурсаў.

**Асноўная частка.** Намі праведзены назіранні за часовай і прасторавай дынамікай расліннасці на лугах, балотах і постсялібных тэрыторыях на працягу чатырох дзесяцігоддзяў, у тым ліку ў рамках выканання заданняў Нацыянальнай сістэмы маніторынгу навакольнага асяроддзя ў Рэспубліцы Беларусь (2000–2020 гг.). Таксама выкарыстаны шматлікія аўтарскія матэрыялы маршрутна-дэталёвых геабатанічных даследаванняў розных катэгорый расліннасці.

Так, у апошнія дзесяцігоддзі ў выніку актыўнага самаўзнаўлення і пашырэння дрэў і хмызнякоў скарачаюцца плошчы кармавых угоддзяў: толькі за 2017 г. па краіне лугі скараціліся на 84,5 тыс. га, або 3,1%, што амаль удвая больш, чым за папярэдні год (1,7%), а з 2010 па 2018 г. – на 610,0 тыс. га, або 18,7%. Прычынай таму ў найбольшай ступені з’яўляецца спыненне гаспадарчага выкарыстання ўгоддзяў – касьбы і выпасу, асабліва на драбнаконтурных участках, у далінах малых рэк (фота 1), а таксама на асушаных землях і ворыве.

За апошнія 16 гадоў (2002–2017) лясная расліннасць пашырылася на 577,3 тыс. га, або 7,0%, дрэвава-хмызняковая – на 350,9 тыс. га, або 72,9% [1, 2]. Сярэдняя гадавая хуткасць пашырэння лясной і дрэвава-хмызняковай расліннасці складае 6,3%. Калі ў пачатку фармавання

сеткі пунктаў маніторынгу лугавой і лугавабалотнай расліннасці (2001–2005 гг.) амаль 90 са 112 ключавых участкаў (КУ) былі чыстымі ад дрэў і хмызнякоў, на астатніх яны не перавышалі 10% плошчы (на асобных пастаянных пробных пляцоўках (ППП) – 35%), то ў 2017 г. чыстых КУ толькі 26. 28 КУ пакрытыя дрэвамі і хмызнякамі на 30–60%, а 4 – на 90–100% [3], г. зн. тут цалкам сфармаваліся лясныя супольніцтвы з характэрнай ім структурай і дамінаваннем дрэвастою.

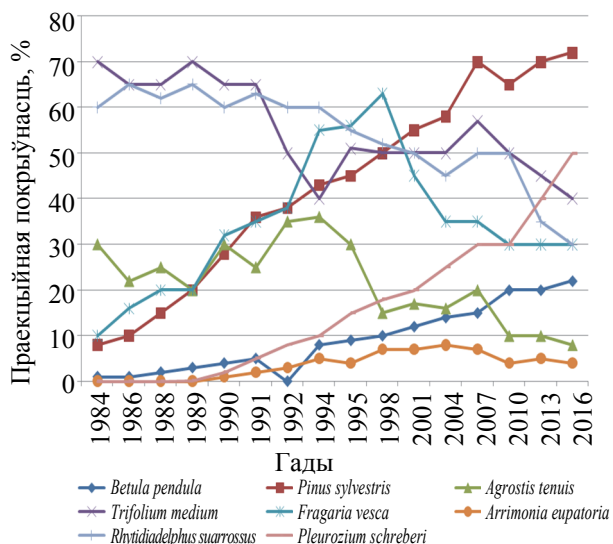


Фота 1. Сціскаецца кольца дрэў і хмызнякоў (пераважна з вярбы ломкай – *Salix fragilis* L. і вольхі шэрай – *Alnus incana* (L.) Moench) на КУ-38 «Наваполацк-9,8» на левабярэжным поплаве р. Ушача (Полацкі раён Віцебскай вобл.)

Асабліва шпаркімі тэмпамі ідзе дэградацыя травяных супольніцтваў на сухадолах паблізу лесу. Яскравым прыкладам з’яўляецца КУ-9 «Астраўляны» (Нарачанскі палігон маніторынгу). Тут пасля спынення касьбы і выпасу жывёлы лугавая травастой, знаходзячыся ў непасрэдным кантакце з лясной расліннасцю, імкліва разбураліся. На ППП-1 ужо цалкам пануе лясное супольніцтва (мал. 1).

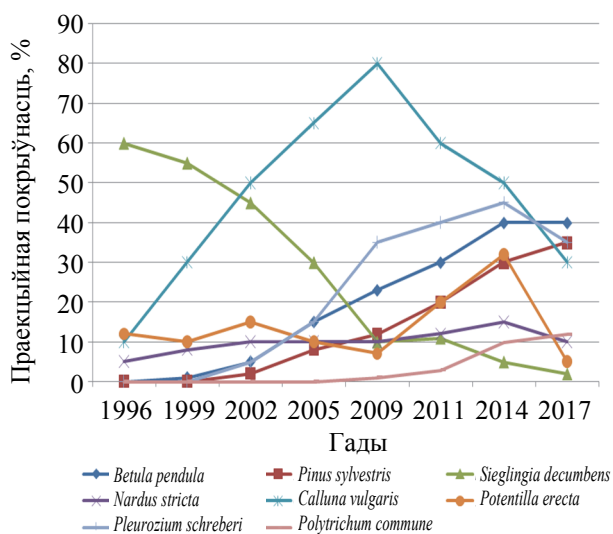
*Заўвага.* Тут і далей лацінскія назвы сасудзістых раслін дадзены па С. К. Чарапанаву [4], імхоў – па М. Ф. Corley et al. [5].

Згодна з мал. 1, напрыканцы 90-х гадоў адбыўся гэты пералом. Узлескавае травяное супольніцтва *Trifolietum medii* Müller 1961 em. Stepanovič 1991 з дамінаваннем канюшыны сярэдняй (*Trifolium medium*) і мятліцы тонкай (*Agrostis tenuis*) саступіла пазіцыі лясному з перавагай у першым ярусе хвой (*Pinus sylvestris*). Спыненне касьбы і выпасу жывёлы, змена асветленасці пацягнулі за сабой адпаведную трансфармацыю наглебавага покрыва: у хмызнячкова-травяным ярусе зніжэнне прысутнасці канюшыны і злакаў кампенсавалася павелічэннем покрывнасці суніц (*Fragaria vesca*), з’яўленнем чарніц, брусніц і іншых ценетрывалых відаў, у імховым – геліяфіт *Rhytidiadelphus squarrosus* саступіў тыпова лясным *Pleurozium schreberi* і *Dicranum scoparium*.



Мал. 1. Дынаміка асноўных відаў раслін першапачаткова ўзлескавага супольніцтва *Trifolium medii* Müller 1961 на ППП-5 КУ-9 «Астраўляны» (Нарачанскі палігон маніторынгу)

На нізінна-сухадольным лузе КУ-40 «Экімань» (Наваполацкі палігон маніторынгу) найбольш актыўны наступ лесу назіраецца на ППП-4, дзе пашыраны лёгкага грануламетрычнага складу і бедныя гумусам глебы. Як паказвае мал. 2, парог фітацэнатычнай устойлівасці лугавага (пашавага) супольніцтва *Sieglingietum decumbentis* Stepanovič (1987) 1991 без умяшальніцтва чалавека паспяхова пераадолены ў 2001–2002 гг. іншымі ацыдафільнымі псіхрамезафітамі, характэрнымі ўжо для ўзлескаў і лясных экасістэм. Спачатку трохзубку (зіглінгію) палеглую (*Sieglingia decumbens*) замясціў верас звычайны (*Calluna vulgaris*), а затым незваротна ініцыятыву перанялі дрэвавыя віды – *Betula pendula* і *Pinus sylvestris*.



Мал. 2. Дынаміка асноўных відаў раслін на ППП-4 КУ-40 «Экімань» (Наваполацкі палігон маніторынгу)

На постсялібных землях былой в. Залюхава (КУ-38 «Наваполацк-9,8») поўным ходам ідуць аднаўленчыя сукцэсіі ў бок фармавання ігліцавых (хваёва-яловых) супольніцтваў. У 90-я гады гэты працэс быў паскораны пасадкай адпаведных лясных культур. Але бурнае развіццё буйнатраўя спачатку з лубіну шматлістага (*Lupinus polyphyllus*) і купкоўкі зборнай (*Dactylis glomerata*), а затым палыну звычайнай (*Artemisia vulgaris*), бадзяку палявога (*Cirsium arvense*) і крапівы двухдомнай (*Urtica dioica*) у большасці сваёй загубіла маладыя пасадкі найперш елкі і прыпыніла фармаванне дрэвастою. І толькі бліжэй да карэнных лясных масіваў, дзе багаты генафонд дрэў, сукцэсіі ідуць шпарка (фота 2).

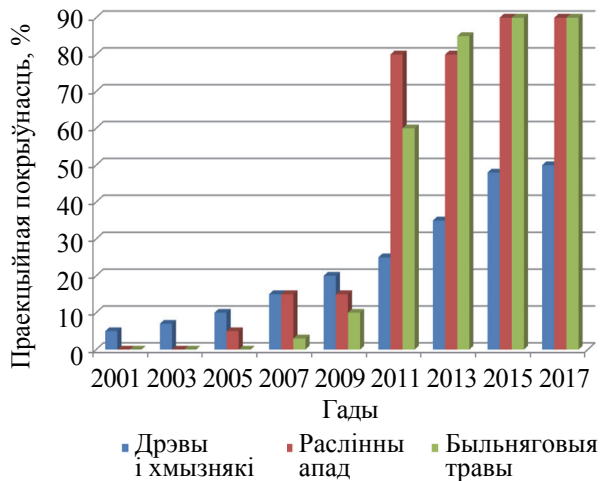


Фота 2. Рудэральнае супольніцтва *Artemisietum vulgaris* R. Тх. 1942 em. Knapp 1945 em. Toběrná 1969 на ППП-3 КУ-39 «Залюхава» (Наваполацкі палігон маніторынгу)

Як правіла, у аднаўленчым сукцэсійным працэсе дрэвам і хмызнякам папярэднічае бальнэг (буйнатраўе), у тым ліку рудэралы (пустазельныя расліны – бадзякі, асоты, крапіва двухдомная, палын звычайны, маркоўнік лясны і г. д.) і інвазійныя віды (баршчэўнік Сасноўскага – *Heracleum sosnowskyi*, сумнік канадскі – *Solidago canadensis*, колночаплоднік шыпаваты – *Echinocystis lobata*, лубін шматлісты – *Lupinus polyphyllus*, купалка канадская – *Conyza canadensis* і інш.) [6].

У пераважнай бальшасці разрастанне бальнягу ёсць вынік адсутнасці або парушэння сенажацева-пашавага рэжыму. Бальнягавасцю (бур’янізацыяй) травастоя ў рознай ступені ахоплены больш за 80% КУ маніторынгу. На 15 участках бальняговыя віды траў дамінаюць (займаюць больш за 50% плошчы). Заўважана прамая карэляцыя паміж колькасцю ападу і багатаснасцю бальнягу (мал. 3).

У цэлым за 20 гадоў назіранняў дынаміка разрастання ППП і КУ пасля спынення сенакашэння паказана ў табл. 1, выпасу жывёлы – у табл. 2.



Мал. 3. Дынаміка ападу, быльнягу і дрэвава-хмызняковай расліннасці на ППП-4 КУ-82 «Навасёлкі» ў даліне р. Цітаўка (басейн Свіслачы, Пухавіцкі раён Мінскай вобл.)

Як бачна, КУ-42 «Зуі» больш як напалову зарос дрэвамі і хмызнякамі. На асобных яго ўчастках (ППП-2) цалкам пануюць дрэвава-хмызняковыя супольніцтвы. Крыху пазней, але такімі ж тэмпамі ідзе зарастанне былых сенажацяў і пашаў на поплаве р. Бярэзіна вышэй за в. Беразіно Ліпскае Докшыцкага раёна (КУ-58 і інш. Бярэзінскага палігона). Луг увачавідкі знікае. Травяныя супольніцтвы пакуль што існуюць фрагментарна ў прырэчышчавай частцы поплава,

аддаленай ад лесу з яго магутным насенным фундам дрэвавай расліннасці, і дзе спрыяльную ролю адыгрывае алювіяльны фактар. Тое ж назіраецца на іншых КУ лугавой і лугава-балотнай расліннасці краіны ў адпаведных эдафічных і геамарфалагічных умовах.

Паказнікі 2018 г. у параўнанні з вынікамі папярэдніх назіранняў сведчаць пра няўхільны і маштабны працэс зарастання як прыродных, так і культурных кармавых угоддзяў хмызнякамі і зніжэнне кармавой каштоўнасці травастаю, у тым ліку на асушаных землях. Так, у выніку маніторынгу выяўлена, што на 6 з 20 ППП Павіццеўскага палігона (Драгічынскі і Кобрынскі раёны Брэсцкай вобласці) травяныя супольніцтвы ўжо выцеснены, дрэвава-хмызняковыя займаюць 70–95% плошчы. Падобныя тэндэнцыі яшчэ на некалькіх ППП. У выніку адсутнасці сенажэння на ППП-9 КУ-53 «Ражное» (Драгічынскі раён) і іншых мінеральных выспах балота Званец, раней пашыраныя дрыжнікавае – *Brizetum mediae* Stepanovič 2000 і пушыстаўсяцовае – *Helictotrichonetum pubescentis* (de Leeuw 1936) Stepanovič 1999 супольніцтвы страцілі свой жыццёвы патэнцыял, саступілі малініі і быльнягомаму разнатраўю. Кармавыя вартасці травастаю знізіліся з II да III і IV класаў. Зараз аднаўленчая прыродная сукцэсія набліжаецца да фармавання хмызняковага, а ў далейшым – ляснага супольніцтва.

Табліца 1  
Дынаміка агульнай праекцыйнай пакрыўнасці дрэвава-хмызняковай расліннасці, траў і ападу пасля спынення касьбы на КУ-42 «Зуі» на нізінна-сухадольным комплексе (Полацкі раён Віцебскай вобл., 2018 г.)

Год назіранняў	1996			2005			2011			2017		
	дрэў і хмызн.	траў	ападу	дрэў і хмызн.	траў	ападу	дрэў і хмызн.	траў	ападу	дрэў і хмызн.	траў	ападу
ППП-1	15	97	0	20	97	0	17	95	45	60	90	80
ППП-2	0	100	0	0,1	100	0	70	75	50	90	50	60
ППП-3	0	100	1	0,1	100	3	40	90	60	50	90	80
ППП-4	0	100	2	0	100	10	1	99	20	10	98	75
На КУ ў цэлым	<b>3</b>			<b>5</b>			<b>36</b>			<b>53</b>		

Табліца 2  
Дынаміка агульнай праекцыйнай пакрыўнасці дрэвава-хмызняковай расліннасці, траў і ападу пасля спынення выпасу жывёлы на КУ-58 «Беразіно-0,7» на левабярэжным поплаве р. Бярэзіна (Докшыцкі раён Віцебскай вобл., 2018 г.)

Год назіранняў	2000			2005			2011			2017		
	дрэў і хмызн.	траў	ападу	дрэў і хмызн.	траў	ападу	дрэў і хмызн.	траў	ападу	дрэў і хмызн.	траў	ападу
ППП-1	0	95	0	0	95	0	20	98	90	30	97	20
ППП-2	0	100	0	0	95	0	10	99	70	35	95	60
ППП-3	0	98	0	0,1	96	0	7	96	35	25	92	50
На КУ ў цэлым	<b>0</b>			<b>0</b>			<b>9</b>			<b>27</b>		

На большасці выспаў вербалоз разам з бярозамі ніцай, або бародаўкавай, і пушыстай, радзей асінай, ужо непадзельна пануюць. На ППП-5 КУ-53 хмызнякі і дрэвы амаль цалкам выцеснілі існае дагэтуль сіткаваасаковае супольніцтва – *Caricetum juncellae* Mirkin et al. 1992,

а на ППП-7 пакрыўнасць дрэвава-хмызняковай расліннасці павялічылася за перыяд назіранняў (2000–2018 гг.) у 9 разоў. Паступова знікае фітацэнатычна-трывалае нізіннабалотнае супольніцтва *Caricetum appropinquatae* Koch 1926 em. Соў 1938 (табл. 3).

Табліца 3

**Фларыстычны склад і прадукцыйнасць супольніцтва *Caricetum appropinquatae* Koch 1926 em. Соў 1938 на ППП-7 КУ-53 «Ражное»**

Від расліны	Ярус і сярэдняя вышыня, м	Змена паказнікаў па гадах								
		2000			2012			2018		
		Жыццёвасць, бал	Праекцыйная пакрыўнасць, %	Багацаснасць па Друцэ	Жыццёвасць, бал	Праекцыйная пакрыўнасць, %	Багацаснасць па Друцэ	Жыццёвасць, бал	Праекцыйная пакрыўнасць, %	Багацаснасць па Друцэ
Дрэвы	I		+			+			+	
<i>Betula pubescens</i>	7,5	3	+(+)	Sol	3	+	Sol	3	+	Sol
Падрост і хмызнякі	II		5			25			40	
<i>Salix pentandra</i>	4,5	3	1	Sol	3	1	Sol	3	3	Sol
<i>Salix cinerea</i>	3,0	3	4(2)	Sol	3	15(5)	Sp	3	30(9)	Cop <sub>1</sub>
<i>Salix lapponum</i>	1,7	–	–	–	3	2	Sol	3	5	Sp
<i>Betula pendula</i>	0,9	3	+	Rr	–	–	–	–	–	–
<i>Betula pubescens</i>	0,3	–	–	–	3	2	Sol	3	10	Sp
<i>Frangula alnus</i>	1,1	–	–	–	–	–	–	2	+	Rr
<i>Salix rosmarinifolia</i>	1,2	2	+(3)	Sol	3	5(5)	Sp	3	15(5)	Sp
Травы	III		90			85			85	
<i>Phragmites australis</i>	1,7	3	5	Sp	3	10	Sp	3	35	Cop <sub>1</sub>
<i>Typha latifolia</i>	1,5	–	–	–	–	–	–	3	+	Rr
<i>Calestania palustris</i>	1,2	3	+	Rr	3	3	Sol	3	6	Sp
<i>Molinia coerulea</i>	1,2	–	–	–	–	–	–	3	1	Sol
<i>Carex appropinquata</i>	1,0	4	50	Cop <sub>2</sub>	4	45	Cop <sub>2</sub>	4	45	Cop <sub>2</sub>
<i>Calamagrostis neglecta</i>	0,8	4	8	Sp	4	6	Sp	4	5	Sp
<i>Calamagrostis canescens</i>	0,8	3	2	Sol	3	8	Sp	3	21	Cop <sub>1</sub>
<i>Carex elata</i>	0,8	3	30	Cop <sub>1</sub>	3	20	Sp	3	7	Sp
<i>Lysimachia vulgaris</i>	0,7	3	2	Sol	3	5	Sp	3	7	Sp
<i>Symphytum officinale</i>	0,7	3	+	Rr	3	+	Rr	3	+	Rr
<i>Carex lasiocarpa</i>	0,7	3	10	Sp	3	7	Sp	3	5	Sp
<i>Ranunculus acris</i>	0,5	–	–	–	–	–	–	2	+	Un
<i>Thelypteris palustris</i>	0,5	4	12	Sp	4	30	Cop <sub>1</sub>	4	50	Cop <sub>2</sub>
<i>Coronaria flos-cuculi</i>	0,47	3	+	Rr	3	+	Rr	–	–	–
<i>Carex juncella</i>	0,4	3	10	Sp	3	10	Sp	3	7	Sp
<i>Equisetum fluviatile</i>	0,4	2	5	Sp	3	2	Sol	3	1	Sol
<i>Epilobium palustre</i>	0,4	3	+	Rr	3	1	Sol	–	–	–
<i>Naumburgia thyrsoiflora</i>	0,35	3	2	Sol	3	+	Rr	–	–	–
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	0,32	–	–	–	–	–	–	3	+	Un
<i>Carex diandra</i>	0,3	3	1	Sol	3	+	Rr	–	–	–
<i>Carex rostrata</i>	0,3	2	+	Rr	3	1	Sol	3	1	Sol
<i>Lycopus europaeus</i>	0,3	3	1	Sol	3	3	Sol	3	1	Sol
<i>Scutellaria galericulata</i>	0,3	3	+	Rr	3	1	Sol	3	2	Sol
<i>Lathyrus pratensis</i>	0,3	–	–	–	2	+	Rr	2	+	Rr
<i>Comarum palustre</i>	0,3	2	7	Sp	3	20	Sp	3	30	Cop <sub>1</sub>
<i>Equisetum palustre</i>	0,3	–	–	–	3	2	Sol	3	5	Sp
<i>Stellaria palustris</i>	0,25	2	+	Rr	2	1	Sol	3	7	Sp
<i>Menyanthes trifoliata</i>	0,25	2	15	Sp	2	3	Sol	3	3	Sol
<i>Galium palustre</i>	0,25	2	1	Sol	2	1	Sol	2	+	Rr
<i>Galium uliginosum</i>	0,2	–	–	–	3	1	Sol	3	3	Sol

Заканчэнне табл. 3

Від расліны	Ярус і сярэдняя вышыня, м	Змена паказнікаў па гадах								
		2000			2012			2018		
		Жыццёвасць, бал	Праекцыйная покрыўнасць, %	Багатаснасць па Друдэ	Жыццёвасць, бал	Праекцыйная покрыўнасць, %	Багатаснасць па Друдэ	Жыццёвасць, бал	Праекцыйная покрыўнасць, %	Багатаснасць па Друдэ
<i>Potentilla erecta</i>	0,18	–	–	–	2	+	Rr	2	+	Rr
<i>Mentha arvensis</i>	0,1	2	+	Rr	2	+	Rr	2	+	Rr
Імхі	IV		50			60			45	
<i>Calligon cordifolium</i>	0,06	3	35	Cop <sub>1</sub>	3	45	Cop <sub>1</sub>	3	40	Cop <sub>1</sub>
<i>Brachythecium rivulare</i>	0,06	2	5	Sp	2	5	Sp	–	–	–
<i>Plagiomnium ellypticum</i>	0,04	3	5	Sp	3	2	Rr	3	+	Rr
<i>Bryum ventricosum</i>	0,03	3	5	Sp	3	8	Sp	3	5	Sp
Агульная праекц. покрыўнасць, %		95			98			100		
Прадукцыйнасць, ц/га		42,6			44,2			47,0		
Апад (покрыўнасць, %)		65			70			80		
Купіны (покрыўнасць, %)		80			85			85		
Узровень грунтовай вады, м		+ 0,10 (на паверхні)			+ 0,05 (на паверхні)			+ 0,03 (на паверхні)		

Заўвагі: 1. У графе «Праекцыйная покрыўнасць» другой лічбай (у дужках) пазначаны сухастой.

2. Багатаснасць відаў вызначана па ўдасканаленай шкале О. Друдэ: Un (unicum) – расліны пададзены ў адной асобіне; Rr (rari) – расліны сустракаюцца адзінкава; Sol (solitariae) – расліны сустракаюцца рэдка; Sp (sparsae) – расліны сустракаюцца ў невялікай колькасці, расцярушана; Cop<sub>1-3</sub> (copiosae) – расліны пададзены ў вялікай колькасці асобін; Soc (socials) – расліны ўтвараюць фон, надземныя часткі іх змыкаюцца.

На больш высокіх выспах зарастанне дрэвамі і хмызнякамі адбываецца праз стадыю бильняговасці травастоя. Напластоўванне расліннага ападу змушае адступіць нават такога магутнага эдыфікатара, як малінія блакітная (*Molinia caerulea*).

На шэразе ППП КУ-54 «Павіцце 4,5» і на прылеглых асушаных участках болота Званец (КУ-55 «Павіцце-2,5», Кобрынскі раён), травяныя супольніцтвы, якія раней панавалі, цалкам саступілі пазіцыі дрэвава-хмызняковым. Сукцэсійныя змены тут асабліва актыўныя, звязаныя з гаспадарчай дзейнасцю чалавека.

У выніку рэканструкцыі меліярацыйнай сістэмы і пракладкі у межах КУ-54 «Павіцце-4,5» канала моцна парушаны гідралагічны рэжым і трансфармавана прылеглая тэрыторыя разам з раслінным покрывам. ППП-2 цалкам ліквідаваны. На ППП-3 яшчэ больш запанавалі хмызнякі (покрыўнасць перавышае 50%). ППП-4 у выніку працяглай адсутнасці касьбы на 90% пакрыта дрэвамі і хмызнякамі. Фактычна КУ-54 не з’яўляецца прадстаўніком лугава-балотнай расліннасці балота Званец.

На палове плошчы КУ-55 (на трох з сямі ППП) таксама фармуецца пераважна супольніцтвы ацыдафільных балотных хмызнякоў (асацыяцыя *Salicetum pentandro-cinereae* (Almqvist 1929) Passarge 1961), часам дэрыватныя з багатасным удзелам плакорных ацыдафілаў – бярозы ніцай і асіны (фота 3).

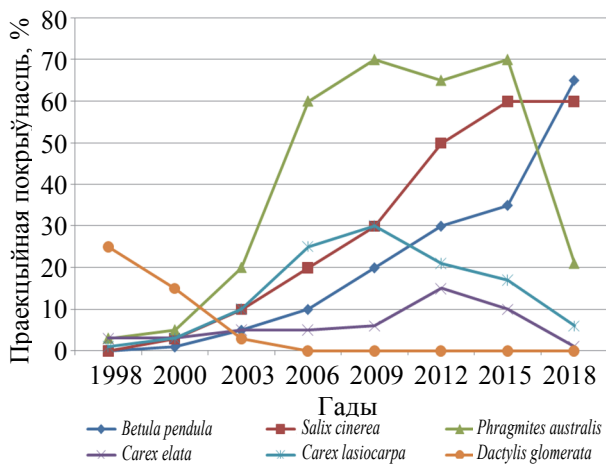


Фота 3. Сучасная фітацэнатычная сітуацыя на ППП-2 КУ-55 «Павіцце-2,5» (Кобрынскі раён Брэсцкай вобласці). На пярэднім плане з боку ППП-1, дзе працягваецца рэгулярнае сенакашэнне, багатасныя трыснёг і асокі

Як паказвае мал. 4, пасеяная ў монакультуры купкоўка зборная ад часу назіранняў (1998 г.) няўхільна саступіла месца абарыгенным відам з наяўнага генафонду ў верхнім тарфяным слоі глебы. У 2001–2002 гг. адбыўся пералом у сукцэсіі на карысць абарыгенаў. Зараз тут першыньствуе трыснёг. На гэтай стадыі аднаўленчай сукцэсіі ў выніку прыпынення сенакашэння актывізаваліся хмызнякі (пераважна вярба попельная), дрэвы (бяроза ніцай і асіна) і бильняговыя травы, у прыватнасці рэпik канапляны (*Eupatorium cannabinum*). У апошнія гады

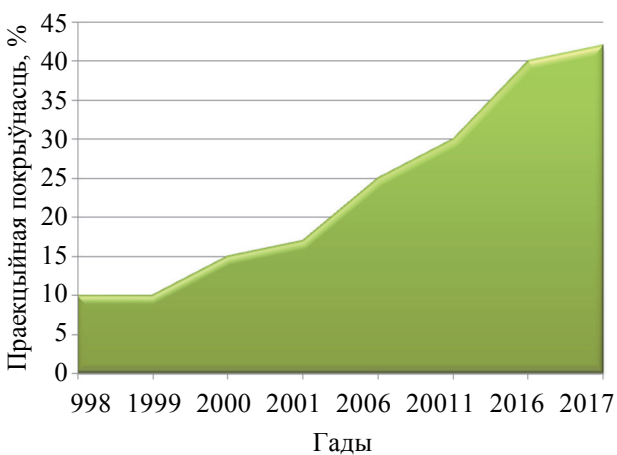


хмызнякі і дрэвы, выйшаўшы ў першы ярус, перахопліваюць ініцыятыву цэнозаўтварэння. Перад іх экспансіяй не вытрымліваюць не толькі расліны ніжэйшых ярусаў, але і канкурэнтна магутны трыснёг. У 2018 г. яго праекцыйная пакрыўнасць знізілася амаль да 20%.



Мал. 4. Дынаміка асноўных відаў расліннага супольніцтва на ППП-2 КУ-55 55 «Павіцце-2,5»

Тое ж назіраецца на іншых нізіннабалотных масівах (мал. 5).



Мал. 5. Дынаміка дрэвава-хмызняковай расліннасці на ППП-6 КУ-51 «Выброды» ў прыгэраснай частцы даліны р. Нараў (балота Дзікае, Пружанскі раён Брэсцкай вобл.)

Пашырэнне дрэвава-хмызняковай расліннасці найбольш інтэнсіўнае з боку менавіта асушаных і перыферычных участкаў балот.

Працэс узнаўлення лясной расліннасці натуральны. Але ёсць і негатыўны яго бок, які заключаецца ў выцясненні травяных супольніцтваў, перш за ўсё сухадольных, у тым ліку рэдкіх, унікальных і гаспадарча каштоўных: вінаграднікавамятліцавага – *Agrostidetum vinealis* Shelyag-Sosonko et al. 1986, горнаканюшынавага – *Trifolietum montani* Mirkin et al. 1983 em.

Shvergunova et al. 1984, вузкалістаметлюжковага – *Poetum angustifoliae* Schelyag-Sosonko et al. 1986, раннеасаковага – *Allio-Caricetum praecocis* Walther 1977, стэпавацімафееўкавага – *Phleetum phleoidis* Podpěra 1928, сярэднеканюшынавага – *Trifolietum medii* Müller 1961 em. Stepanovič 1991, чырвонамурожніцавага – *Festucetum rubrae* Válek 1956 em. Pukau et al. 1956 і інш. [7].

Піянеры натуральнага ўзнаўлення лясной і хмызняковай расліннасці:

на паплавах рэк:

- 1) дуб чарэшчаты – *Quercus robur* L.;
- 2) вярба белая (в. серабрыстая, вятла) – *Salix alba* L.;
- 3) вярба (лаза) трохтычынкавая – *Salix triandra* L.;
- 4) вярба (лаза) розмарыналістая – *Salix rosmarinifolia* L.;
- 5) вярба ломкая (ракіта) – *Salix fragilis* L.;
- 6) вярба (лаза) вастралістая (в. чырвоная) – *Salix acutifolia* Willd.;

на нізінных лугах і балотах:

- 1) вольха чорная (клейкая) – *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.;
  - 2) бяроза пушыстая – *Betula pubescens* Ehrh.;
  - 3) вярба (лаза) попельная – *Salix cinerea* L.;
  - 4) вярба (лаза) пяцітычынкавая – *Salix pentandra* L.;
  - 5) крушына ломкая – *Frangula alnus* Mill.;
- на аборках (сухадольных лугах):
- 1) бяроза ніцая (б. бародаўкавая) – *Betula pendula* Roth.;
  - 2) хвоя звычайная – *Pinus sylvestris* L.;
  - 3) таполя дрыготкая (асіна) – *Populus tremula* L.;
  - 4) елка еўрапейская (е. звычайная) – *Picea abies* (L.) Karst.;
  - 5) вольха шэрая – *Alnus incana* (L.) Moench.;
  - 6) вярба (лаза) казіная – *Salix caprea* L.;
  - 7) яловец звычайны – *Juniperus communis* L.;

на постсялібных тэрыторыях:

- 1) клён платанавы (к. вастралісты) – *Acer platanoides* L.;
- 2) клён ясенялісты (к. амерыканскі) – *Acer negundo* L.;
- 3) рабінія ілжэакацыя – *Robinia pseudo-acacia* L.;
- 4) бяроза ніцая (б. бародаўкавая) – *Betula pendula* Roth.;
- 5) хвоя звычайная – *Pinus sylvestris* L.;
- 6) таполя дрыготкая (асіна) – *Populus tremula* L.;
- 7) вярба (лаза) казіная – *Salix caprea* L.;
- 8) бэз звычайны – *Syringa vulgaris* L.;
- 9) бузіна чырвоная – *Sambucus racemosa* L.;
- 10) рабіннік рабіналісты – *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br. і інш.

На былых сялібных землях, як правіла, у сукцэсійным працэсе першынствуюць інтрадукаваныя віды, сярод якіх пераважаюць інвазійныя,

на аддаленых адкрытых тэрыторыях – расліны мясцовых прыродных супольніцтваў адпаведных экасістэм.

**Заклучэнне.** Такім чынам, аднаўленчыя сукцэсіі ў раслінным покрыве найактыўней адбываюцца на былых сялібных тэрыторыях, закінутых лугах і даўно асушаных балотах. Ключавым фактарам, які выклікае дэградацыю лугавой і лугава-балотнай расліннасці і спрыяе пашырэнню дрэў і хмызнякоў, з’яўляецца парушэнне рэжыму гаспадарчага выкарыстання ўгоддзяў. Кірункі, інтэнсіўнасць сукцэсій, відавяду склад сукцэсійных супольніцтваў перш за ўсё залежаць ад глебава-гідралагічных умоў і

наяўнасці насеннага фонду. Асноўныя фактары, якія спрыяюць распаўсюджанню хмызнякоў і лесаўзнаўленню на лугах, балотах і постсялібных тэрыторыях:

- спыненне сенакашэння;
- нерэгламентаваны выпас жывёлы;
- адсутнасць мерапрыемстваў па доглядзе травяных ўгоддзяў, у тым ліку на асушаных землях;
- пасадкі лясных культур.

Закінутыя сельгасугоддзі – прыдатнейшае месца распаўсюду інвазійных відаў, у тым ліку непажаданых і небяспечных. Таму гэтыя землі мусяць быць пад кантролем.

### Літаратура

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2018 года) / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. Минск, 2018. 57 с.
2. Государственный земельный кадастр Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2003 года) / Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь. Минск, 2003. 98 с.
3. Сцепановіч І. М. Сучасны стан і стратэгія ўстойлівага выкарыстання лугавой расліннасці Беларусі // Природные ресурсы. 2017. № 2. С. 58–74.
4. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.
5. Corley M. F. V., Grundwell A. C., Düll R. Hill R. & Smith A. J. E. Mooses of Europe and the Azores, an annotated list of species, with synonyme from the recent literature // J. of Bryol. 1981. Vol. 11, no. 4. P. 609–689.
6. Растения-агрессоры. Инвазионные виды на территории Беларуси / Д. В. Дубовик [и др.]. Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2017. 192 с.
7. Сцепановіч І. М. Прынцыпы, метады і крытэры сазалагічнай ацэнкі раслінных супольніцтваў // Природные ресурсы. 2016. № 1. С. 34–47.

### References

1. *Reyestr zemel'nykh resursov Respubliki Belarus (po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2018 goda)* [Register of land resources of the Republic of Belarus (as of January 1, 2018)]. Minsk, 2018. 57 p. (In Russian).
2. *Gosudarstvennyy zemel'nyy kadastr Respubliki Belarus (po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2003 goda)* [The State Land Cadastre of the Republic of Belarus (as of January 1, 2003)]. Minsk, 2003. 98 p. (In Russian)
3. Stepanovich I. M. Current status and strategy of sustainable use of meadow vegetation in Belarus]. *Prirodnyye resursy* [Natural resources], 2017, no. 2, pp. 58–74 (In Belarusian).
4. Cherepanov S. K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and adjacent states]. St. Petersburg, Mir i sem'ya Publ., 1995. 990 p.
5. Corley M. F. V., Grundwell A. C., Düll A. C., Hill R. & Smith A. J. E. Mooses of Europe and the Azores, an annotated list of species, with synonyme from the recent literature. *J. of Bryol*, 1981, vol. 11, no. 4, pp. 609–689.
6. Dubovik D. V., Skuratovich A. N., Parfenov V. I., Lebed'ko V. N., Savchuk S. S. *Rasteniya-agressory. Invazionnyye vidy na territorii Belarusi* [Aggressor plants. Invasive species on the territory of Belarus]. Minsk, Belaruskaya Entsylapedyya imya P. Brouki Publ., 2017, 192 p.
7. Stepanovich I. M. Principles, methods and criteria for evaluation of zoological assessment of plant communities]. *Prirodnyye resursy* [Natural resources], 2016, no. 1, pp. 34–47 (In Belarusian).

### Інфармацыя пра аўтара

**Сцепановіч Іосіф Міхайлавіч** – доктар біялагічных навук, галоўны навуковы супрацоўнік. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча НАН Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: jazep.st@hotmail.com

### Information about the autor

**Stepanovich Iosiph Mikhaylavich** – DSc (Biology), Chief Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademichnaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jazep.st@hotmail.com

Паступіў 27.03.2019

УДК 581.526.42(476)

**І. М. Сцепановіч**

Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча НАН Беларусі

**ІНВАЗІЙНЫ ПАТЭНЦЫЯЛ СІНАНТРОПНАГА КАМПАНЕНТА  
ХВАЁВЫХ ЛЯСОЎ БЕЛАРУСІ**

Разглядаецца сінантрапізацыя хваёвых лясоў Беларусі. Сінантропны кампанент ацэнены з выкарыстаннем такіх паказнікаў, як індэкс сінантрапізацыі, індэкс апафітызацыі, індэкс адвентызацыі і ступень сінантрапізацыі. Выяўлены 32 інвазійныя віды, прыналежаць да розных жыццёвых формаў. Аналізуюцца іх удзел у хвойніках і цэнозаўтваральныя магчымасці. У сістэме цэнатыпаў Раменскага – Грайма гэтыя віды размеркаваны наступным чынам: 16 відаў раслін – віяленты (С-тып), здольныя радыкальна трансфармаваць аборытныя фітацэнозы і ўтвараць уласныя, з непадзельным дамінаваннем, 14 – патыенты (S-тып) і 2 – эксплерэнты (R-тып). З інвазійных дрэў канкураваць з хвойй звычайнай (*Pinus sylvestris*) здольныя дуб чырвоны (*Quercus rubra*) і рабінія ілжакацыя (*Robinia pseudoacacia*). Вялікая прадстаўленасць інвазій у хваёвых лясах абумоўлена шэрагам фактараў: шырокай экалагічнай амплітудай хвойнікаў; высокай асветленасцю асноўнага, дрэвавага яруса; недастатковай цэнозаўстойлівасцю хвоі; адноснай спрыяльнасцю эдафічных умоў; блізкасцю населеных пунктаў і транспартных камунікацый. Пераважнай прычынай актыўнай дынамікі інвазійных відаў з'яўляюцца пашырэнне і інтэнсіфікацыя антрапагенных трансфармацый прыроднага асяроддзя.

**Ключавыя словы:** хваёвыя лясы, сінтаксанамічная структура, інвазійныя расліны, цэнозаўтваральны патэнцыял, Беларусь.

**I. M. Stepanovich**V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany  
of the National Academy of Sciences of Belarus**THE INVASIVE POTENTIAL OF SYNANTHROPIC COMPONENTS  
OF PINE FORESTS IN BELARUS**

There was considered synanthropisation of pine forests of Belarus. Synanthropic component was evaluated using such parameters as synanthropic index, apophytization index, adventisation index and degree of synanthropization. There were identified 32 invasive species belonging to different life forms. There are analyzed their participation in pine forests and coenotic-forming possibilities. In the system of coenotypes of Ramensky-Grime these species are distributed as follows: 16 plant species – violents (C-type), capable to transform native phytocenoses radically and form its own phytocenoses with the undivided domination, 14 plant species – patients (S-type) and 2 plant species – explerents (R-type). Among invasive trees only red oak (*Quercus rubra*) and black locust (*Robinia pseudoacacia*) can compete with scots pine (*Pinus sylvestris*). Massive representation of invasions in the pine forests takes place due to several factors: wide ecological amplitude of pine forests; high-luminance of the basic tree tier; insufficient coenotic resistance of pine; relative promotion of edaphic conditions; the proximity of settlements and transport communications. The predominant reason of the active dynamics of invasive species is the expansion and intensification of anthropogenic transformation of the natural environment.

**Key words:** pine forests, syntaxonomical structure, invasive plants, coenotic-forming potential, Belarus.

**Уводзіны.** Апошнія дзесяцігоддзі назіраецца ўзмацненне актыўнасці гэтак званых антрапафітаў, або сінантропных (ад грэч. *syn* – разам і *ánthrōpos* – чалавек) відаў, у пэўнай ступені звязаных з гаспадарчай дзейнасцю чалавека. Будаўнічыя пляцоўкі, звалкі, дарогі, трасы прадуктаправодаў і ЛЭП уяўляюць сабой найбольш спрыяльны плацдарм для рассялення нетыповай для мясцовых супольніцтваў катэгорыі раслін. Перш за ўсё ўздзеянне заносных відаў трываюць прылеглыя да гэтых аб'ектаў фітацэнозы,

прыналежаць да розных экасістэм – як прыродных (лясных, лугавых, балотных, водных), так і антрапагенных (агра- і ўрбаэкасістэм). Сінантропныя расліны – яркі паказнік экалагічнага стану і ступені аднаўленчай сукцэсіі расліннага покрыва. Дадзеная група флоры неаднастайная. Тут вылучаюць:

1) сегетальныя, або пустазельна-палявыя, расліны, якія растуць на палях, агародах і іншых ворыўных землях (валожка сіняя, лебядка белая, метлічка звычайная і інш.) разам з вырошчальнай культурай;

2) рудэральныя, або сметнікавыя, расліны, якія растуць ля дарог, на пустках, сметніках, у тым ліку натуральнага паходжання (па берагавых валах, навалах буралому і г. д. – крапіва двухдомная, маліна лясная, маркоўнік лясны, палын звычайнай і інш.).

Па паходжанні (флорагенэзе) сінантропныя расліны дзеляцца:

1) на абарыгенныя (аўтахтонныя) апафітныя, якія перайшлі з мясцовых, у тым ліку натуральных фітацэнозаў (напрыклад, бліскаўка звычайная, палын раўнінны, пырнік паўзкі і інш.);

2) адвенцыйныя, або расліны-прыхадні, занесеныя (часцей транспартам) з іншых, нярэдка аддаленых тэрыторый (напрыклад, для Еўропы гэта дробнапялестачнік канадскі, галінзога драбнакветкавая, клён ясенялісты і інш., для Паўночнай Амерыкі – трыпутнік вялікі, салянкі і інш.). У далейшым яны могуць перайсці ў групы сегетальных ці, часцей, рудэральных раслін.

**Асноўная частка.** Ацэнка сінантрапізацыі праводзілася намі з улікам колькасці заносных відаў і іх багатаснасці (покрыўнасці) у фітацэнозе. Прыкладам ацэнкі з'яўляўся дапаможнік карэльскіх даследнікаў [1]. Пры аналізе сінантропнага кампанента выкарыстаны паказнікі:

1) індэкс сінантрапізацыі, або сінантропнасці (Is), – адносіны колькасці сінантропных відаў да агульнай колькасці відаў у фітацэнозе;

2) індэкс апафітызацыі, або апафітнасці (Iap), – адносіны колькасці апафітаў да агульнай колькасці сінантропных відаў;

3) індэкс адвенцызацыі, або адвенцыйнасці (Iad), – адносіны колькасці адвентаў да агульнай колькасці сінантропных відаў.

Такі інтэграваны паказнік, як ступень сінантрапізацыі, вызначаны ў працэнтах (%) суадносінамі сумарнай пракцыйнай покрыўнасці сінантропных раслін да агульнай сумарнай покрыўнасці ўсіх вышэйшых сасудзістых відаў, зафіксаваных у геабатанічным апісанні супольніцтва.

Удзельная вага сінантропнага кампанента ў флоры Беларусі значная (5–6%) і з устойлівай тэндэнцыяй да ўзрастання. Шматлікія сінантропныя расліны распаўсюджаны вельмі шырока, нярэдка з'яўляюцца касмапалітамі. Але ўсё ж яны прывязваюцца да пэўнай тэрыторыі з больш прымальнымі экалагічнымі (абіятычнымі і біятычнымі, у тым ліку антрапагеннымі) умовамі навакольнага асяроддзя. Патэнцыйна інвазійных відаў на Беларусі каля 300 [2]. Сярод іх больш за 30 відаў-трансформераў: баршчэўнік Сасноўскага, клён ясенялісты, рабінія ілжэакацыя, сумнік канадскі і інш., – якія праяўляюць агрэсіўныя ўласцівасці і здольныя хутка і карэнным чынам змяняць складзены гістарычна мясцовыя экасістэмы.

Інвазіі адвенцыйных відаў назіраюцца як у парушаных экасістэмах, так і ў карэнных, не кранутых чалавекам і стыхіяй. Нават у такіх трывалых, як лясныя, у тым ліку хвойніках (з дамінаваннем хвоі звычайнай – *Pinus sylvestris* L.).

Лясная расліннасць ахоплівае найбольшую тэрыторыю краіны (8773,5 тыс. га, або 42,3%) [3]. Згодна з апошняй версіяй міжнароднай сітаксанамічнай сістэмы [4], лясная расліннасць адносіцца да дзевяці класаў [5]. Панавальнае становішча маюць ігліцавыя лясы класаў *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 – супольніцтва барэальных, пераважна яловых лясоў і *Pyrolo-Pinetea sylvestris* Korneck 1974 – супольніцтва барэальных хваёвых лясоў. Сярод іх пераважаюць хвойнікі. У структуры лясной расліннасці яны займаюць плошчу 4142,8 тыс. га, або 50,2% [6].

Хваёвыя лясы адрозніваюцца найбольшай эўрытопнасцю, г. зн. маюць вельмі шырокую экалагічную амплітуду. Яны фармуюцца ў самых разнастайных умовах – ад сухіх пячаных выдмаў і здравых раўнін да пераходных і верхавых балотаў. З усіх лясных супольніцтваў таму і вылучаюцца найбольшай фітацэнаразнастайнасцю – 26 асацыяцый, якія адносяцца да 6 звязяў, 5 парадкаў і 2 класаў [7]. Распаўсюджаны па ўсёй тэрыторыі Беларусі. Хвойнікі прадстаўлены пераважна асацыяцыямі *Pleurozioschreberi-Pinetum* cult. Šomšáková 1988, *Pineto-Vaccinietum myrtilli* Br.-Bl. et Vlieger 1939, *Pyrolo-Pinetum* E. Schmidt 1936, *Vaccinio uliginosi-Pinetum* Kleist 1929, *Pteridio-Pinetum* Andrienko 1986 і інш.

З усіх катэгорый лясоў Беларусі ў хвойніках найбольшая колькасць адвенцыйных інвазійных відаў (паводле нашых назіранняў, 32), прыналежаць да розных жыццёвых формаў. Пераважаюць хмызнякі (іх 15, або 47%), затым па колькасці ідуць травы (11, або 34%), дрэвы (5, або 16%) і ліяны (1, або 3%).

Інвазійныя расліны маюць месца ва ўсіх ярусах лесу. З дрэў тут праяўляюць актыўнасць рабінія ілжэакацыя, клён ясенялісты, дуб чырвоны, чаромха позняя і вішня птушыная (чарэшня), з хмызнякоў – бузіны чырвоная і чорная, жарновец мяцёлчаты, пухіраплоднік каліналісты, глогі адагнутасподкалісцікавы, аднаслупковы і крывава-чырвоны, рабіннік рабіналісты, ірга каласістая, аронія (чарнаплодная рабіна), абліпіха крушынавая, ружы (шыпшыны) звычайная і маршчыністая, свіда белая, бэз звычайнай, з ліянаў – вінаград дзявочы пяцілісцікавы, з траў – лубін шматлісты, баршчэўнікі Сасноўскага і Мантэгаці, сумнік канадскі, бальзаміны драбнакветкавы і залозісты (бальсан залозісты), дробнапялестачнік канадскі, панікніца буйналістая,

танкалучнік аднагадовы, астра новабельгійская (віргінская), эрэхтытэс ястрабковалісты. У сістэме цэнатыпаў Раменскага – Грайма [8–10] гэтыя віды размеркаваны наступным чынам (табл. 1).

Згодна з табл. 1, 16 відаў раслін – віяленты (С-тып), здольныя радыкальна трансфармаваць абарыгенныя фітацэнозы і ўтвараць уласныя, з непадзельным дамінаваннем, 14 – патыенты (S-тып) і 2 – эксплерэнты (R-тып).

Хвоя звычайная – тыповы патыент [8]. І ў пэўных эдафічных умовах яна саступае такім

магутным віялентам, як дуб і елка. З інвазіяных дрэў канкураваць з хвойй здольныя дуб чырвоны (напрыклад, хвойнік на поўначы балотнага масіву Званец) і рабінія ілжэакацыя (Палескі радыяцыйна-экалагічны запаведнік). Другі ярус могуць цалкам сфармаваць бузіны чырвоная (у цэнтральнай і ўсходняй Беларусі) і чорная (у заходняй частцы краіны), глог адагнутасподкалісцікавы, пухіраплоднік каліналісты і рабіннік. Вось прыклады хваёвых супольніцтваў з удзелам найбольш актыўных адвентаў (табл. 2 і 3).

Табліца 1

Размеркаванне інвазіяных відаў раслін у сістэме цэнатыпаў Раменскага – Грайма

Назва расліны*	Жыццёвая форма	Фітацэнацып**
Абляпіха крушынавая – <i>Hippophaë rhamnoides</i> L.	хмызняк/дрэва	С-тып
Аронія (чарнаплодная рабіна) – <i>Aronia mitschurinii</i> Skvortsov et Maitulina	хмызняк	S-тып
Астра новабельгійская (віргінская) – <i>Aster novi-belgii</i> L.	трава	S-тып
Бальзамін драбнакветкавы – <i>Impatiens parviflora</i> DC.	трава	S-тып
Бальзамін (бальсан) залозісты – <i>Impatiens glandulifera</i> Royle	трава	С-тып
Баршчэўнік Мантэгаці – <i>Heracleum mantegazzianum</i> Sommier & Levier	трава	С-тып
Баршчэўнік Сасноўскага – <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.	трава	С-тып
Бузіна чорная – <i>Sambucus nigra</i> L.	хмызняк	S-тып
Бузіна чырвоная – <i>Sambucus racemosa</i> L.	хмызняк	С-тып
Бэз звычайны – <i>Syringa vulgaris</i> L.	хмызняк	S-тып
Вінаград дзявочы пяцілісцікавы – <i>Parthenocissus quinquefolia</i> Planch.	ліяна	С-тып
Вішня птушыная (чарэшня) – <i>Prunus avium</i> L.	дрэва	S-тып
Глог адагнутасподкалісцікавы – <i>Crataegus curvisepala</i> Lindm.	хмызняк	С-тып
Глог аднаслупковы – <i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	хмызняк	S-тып
Глог крывава-чырвоны – <i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	хмызняк	S-тып
Дробнапялёстачнік канадскі – <i>Coryza canadensis</i> (L.) Cronq.	трава	R-тып
Дуб чырвоны – <i>Quercus rubra</i> L.	дрэва	С-тып
Жарновец мяцёлчаты – <i>Sarothamnus scoparius</i> (L.) Koch	хмызняк	С-тып
Ірга каласістая – <i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) C. Koch	хмызняк	S-тып
Клён ясенялісты (к. амерыканскі) – <i>Acer negundo</i> L.	дрэва	С-тып
Лубін шматлісты – <i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.	трава	С-тып
Панікніца буйналістая – <i>Geum macrophyllum</i> Willd.	трава	S-тып
Пухіраплоднік каліналісты – <i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.	хмызняк	С-тып
Рабінія ілжэакацыя – <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	дрэва	С-тып
Рабіннік рабіналісты – <i>Sorbaria sobifolia</i> (L.) A. Br.	хмызняк	С-тып
Ружа (шыпшына) звычайная – <i>Rosa canina</i> L.	хмызняк	С-тып
Ружа (шыпшына) маршчыністая – <i>Rosa rugosa</i> Thunb.	хмызняк	S-тып
Свіда белая – <i>Swida alba</i> (L.) Opiz	хмызняк	S-тып
Сумнік канадскі – <i>Solidago canadensis</i> L.	трава	С-тып
Танкалучнік аднагадовы – <i>Phalacrolooma annuum</i> (L.) Dumort.	трава	R-тып
Чаромха позняя – <i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Borkh.	дрэва	S-тып
Эрэхтытэс ястрабковалісты – <i>Erechtites hieracifolius</i> (L.) Raf. ex. DC.	трава	S-тып

\* Тут і далей лацінскія назвы сасудзістых раслін дадзены па С. К. Чарапанаву [11], імхоў – па М. F. Corley et al. [12].

\*\* Фітацэнацыпы:

С-тып (ад англ. *competitor* – канкурэнт), або віяленты («сілавікі», «ільвы»), – канкурэнтна магучыя расліны;

S-тып (ад англ. *stress tolerator* – устойлівы да стрэсу), або патыенты («трывальцы», «вярблюды»), – расліны, трывалыя да неспрыяльных умоў асяроддзя;

R-тып (ад англ. *ruderal* – сметнікавы), або эксплерэнты («рудэралы», «шакалы»), – расліны, якія хутка рэагуюць на парушэнні субстрату.

Табліца 2

**Хвойнік чарніцавы (*Vaccinio myrtilli-Pinetum sylvestris* Juraszek 1928) з дамешкам асіны (I і II ярусы), бярозы ніцай (I ярус) і значным удзелам інвазіянага глогу адагнутасподкалісцікавага (II ярус)**  
 1,0 км на паўднёвы захад ад былой в. Цна Мінскага раёна (7,0 км на паўночны ўсход ад цэнтра г. Мінска).  
 Верхняя частка схілу правабярэжнай тэрасы р. Цна. Глеба дзірванова-папялістая, супясчаная.  
 Узровень грунтовай вады ніжэй за 2,0 м. ПП № 5828. GPS-каардынаты: N 53°51,628'; E 0 27°38,194'

Назва расліны	Ярус	Сярэдняя вышыня, м	Фена- фаза	Жыццё- васць, бал	Праек- цыйная покрыў- насць, %	Багата- насць, бал*	Сінантропны кампанент
Дрэвы	I	26,0–21,0			83		
<i>Pinus sylvestris</i>			пл	4	55	Сор <sub>3</sub>	
<i>Populus tremula</i>			вег	4	25	Сор <sub>1</sub>	
<i>Betula pendula</i>			вег	4	5	Sp	
Падрост	II	8,0–0,2			22		
<i>Populus tremula</i>			вег	4	20	Sp	
<i>Quercus robur</i>			вег	4	+	Rr	
<i>Acer platanoides</i>			вег	4	1	Sol	
<i>Picea abies</i>			вег	3	+	Rr	
Падлесак: дрэвы і хмызнякі	II	5,0–0,3			43		
<i>Crataegus curvisepala</i>			пл	5	30	Сор <sub>1</sub>	адв/інв
<i>Sorbus aucuparia</i>			пл	4	5	Sp	
<i>Prunus avium</i>			вег	4	1	Sol	адв/інв
<i>Salix caprea</i>			вег	4	1	Sol	
<i>Frangula alnus</i>			вег	4	+	Rr	
<i>Malus sylvestris</i>			вег	4	+	Rr	
<i>Ribes spicatum</i>			вег	3	+	Rr	аб/ап
<i>Swida alba</i>			вег	3	+	Rr	адв/інв
Жывое наглебавае покрыва: хмызнячкі, паўхмызнячкі і травы	III	1,5–0,1			85		
<i>Rubus idaeus</i>			вег	3	10	Sp	
<i>Dactylis glomerata</i>			пл	3	5	Sp	аб/ап
<i>Solidago canadensis</i>			вег	3	1	Sol	адв/інв
<i>Lilium martagon</i>			вег	3	+	Rr	
<i>Solidago virgaurea</i>			пл	4	3	Sol	
<i>Pteridium aquilinum</i>			сп	3	10	Sp	
<i>Knautia arvensis</i>			пл	4	1	Sol	аб/ап
<i>Lathyrus sylvestris</i>			пл	3	2	Sol	
<i>Mycelis muralis</i>			пл	3	5	Sp	
<i>Lupinus polyphyllus</i>			вег	3	1	Sol	адв/інв
<i>Agrimonia eupatoria</i>			пл	4	1	Sol	
<i>Lysimachia vulgaris</i>			вег	3	1	Sol	аб/ап
<i>Hypericum perforatum</i>			пл	3	1	Sol	
<i>Achillea millefolium</i>			пл	3	1	Sol	аб/ап
<i>Geum urbanum</i>			пл	4	10	Sp	аб/ап
<i>Artemisia vulgaris</i>			вег	2	+	Rr	аб/ап
<i>Betonica officinalis</i>			вег	3	+	Rr	аб/ап
<i>Trifolium medium</i>			вег	3	1	Sol	
<i>Vaccinium myrtillus</i>			вег	3	50	Сор <sub>2</sub>	
<i>Trifolium pratense</i>			вег	2	+	Rr	аб/ап
<i>Festuca ovina</i>			пл	3	1	Sol	
<i>Galium mollugo</i>			вег	2	1	Sol	аб/ап
<i>Taraxacum officinale</i>			вег	2	2	Sol	аб/ап
<i>Veronica chamaedrys</i>			вег	2	1	Sol	аб/ап
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			вег	4	4	Sol	
<i>Luzula pilosa</i>			пл	4	2	Sol	
<i>Fragaria vesca</i>			вег	3	7	Sp	

Заканчэнне табл. 2

Назва расліны	Ярус	Сярэдняя вышыня, м	Фена- фаза	Жыццё- васць, бал	Праек- цыйная покрыў- насць, %	Багатас- насць, бал*	Сінантропны кампанент
Жывое наглебавае покрыва: імхі	IV	0,05–0,03			10		
<i>Pleurozium schreberi</i>			вег	1	5	Sp	
<i>Brachythecium oedipodium</i>			вег	3	8	Sp	
<i>Plagiomnium affine</i>			вег	2	2	Sol	
Сцежкі					30		
Індэкс сінантрапізацыі (Is)							0,39
Індэкс апафітызацыі (Iap)							0,71
Індэкс адвентызацыі (Iad)							0,29
Ступень сінантрапізацыі, %							21,0

\* Багатаснасць відаў вызначана па ўдасканаленай шкале О. Друдэ: Un (unicum) – расліны пададзены ў адной асобіне; Rr (rari) – расліны сустракаюцца адзінкава; Sol (solitariae) – расліны сустракаюцца рэдка; Sp (sparsae) – расліны сустракаюцца ў невялікай колькасці, расцярушана; Cop<sub>1-3</sub> (copiosae) – расліны пададзены ў вялікай колькасці асобін; Soc (socials) – расліны ўтвараюць фон, надземныя часткі іх змыкаюцца.

Дата апісання: 09.10.2013.

Табліца 3

**Стараўзроставы хвойнік з дамешкам елкі (I ярус) і значным удзелам інвазійных бузінаў чырвонай і чорнай (II ярус) і бальзаміну залозістага (III ярус) 0,5 км на ўсход ад п. Мачулішчы Мінскага раёна.**

Сярэдняя частка пакатага схілу пагорка. Глеба дзірванова-папялістая, супясчаная. Узровень грунтовай вады ніжэй за 2,0 м. ПП № 6210. GPS-каардынаты: N 53°46'53.0"; E 0 27°36'06.4"

Назва расліны	Ярус	Сярэдняя вышыня, м	Фена- фаза	Жыццё- васць, бал	Праек- цыйная покрыў- насць, %	Багатас- насць, бал	Сінантропны кампанент
Дрэвы	I	27,0–20,0			55		
<i>Pinus sylvestris</i>			пл	4	50	Cop <sub>2</sub>	
<i>Picea abies</i>			пл	4	5	Sp	
Падрост	II	7,0–0,3			2		
<i>Betula pendula</i>			вег	4	+	Rr	
<i>Quercus robur</i>			вег	4	1	Sol	
<i>Ulmus laevis</i>			вег	4	+	Rr	
Падлесак: дрэвы і хмызнякі	II	6,5–0,5			60		
<i>Corylus avellana</i>			вег	4	10	Sp	
<i>Sambucus racemosa</i>			пл	5	35	Cop <sub>1</sub>	адв/інв
<i>Sambucus nigra</i>			вег	4	10	Sp	адв/інв
<i>Sorbus aucuparia</i>			пл	4	5	Sp	
<i>Prunus avium</i>			вег	4	1	Sol	адв/інв
<i>Salix caprea</i>			вег	3	+	Rr	
Жывое наглебавае покрыва: паўхмызнякі і травы	III	1,5–0,1			85		
<i>Chamaenerion angustifolium</i>			пл	4	10	Sp	аб/ап
<i>Impatiens grandulifera</i>			вег	5	70	Cop <sub>3</sub>	адв/інв
<i>Rubus idaeus</i>			вег	3	5	Sp	
<i>Artemisia vulgaris</i>			вег	4	1	Sol	аб/ап
<i>Dactylis glomerata</i>			пл	3	2	Sol	аб/ап
<i>Urtica dioica</i>			вег	3	6	Sol	аб/ап
<i>Hieracium umbellatum</i>			вег	4	1	Sol	аб/ап
<i>Solidago virgaurea</i>			пл	4	1	Sol	
<i>Agrimonia eupatoria</i>			пл	4	+	Rr	
<i>Mycelis muralis</i>			пл	3	3	Sol	
<i>Galeopsis tetrahit</i>			пл	4	2	Sol	аб/ап
<i>Geum urbanum</i>			пл	4	5	Sp	аб/ап
<i>Achillea millefolium</i>			пл	4	1	Sol	аб/ап

Заканчэнне табл. 3

Назва расліны	Ярус	Сярэдняя вышыня, м	Фена- фаза	Жыццё- васць, бал	Праек- цыйная покрыў- насць, %	Багатас- насць, бал	Сінантропны кампанент
<i>Knautia arvensis</i>			пл	4	+	Rr	аб/ап
<i>Agrostis tenuis</i>			пл	3	3	Sol	аб/ап
<i>Cirsium arvense</i>			вег	4	+	Rr	аб/ап
<i>Taraxacum officinale</i>			вег	2	1	Sol	аб/ап
<i>Luzula pilosa</i>			пл	4	+	Rr	
<i>Veronica chamaedrys</i>			вег	2	2	Sol	аб/ап
<i>Fragaria vesca</i>			вег	3	5	Sp	
Жывое наглебавае покрыва: імхі	IV	0,05–0,03			5		
<i>Pleurozium schreberi</i>			вег	1	2	Sp	
<i>Brachythecium oedipodium</i>			вег	3	3	Sp	
Сцежкі					20		
Індэкс сінантрапізацыі (Is)							0,52
Індэкс апафітызацыі (Iap)							0,76
Індэкс адвентызацыі (Iad)							0,24
Ступень сінантрапізацыі, %							63,7

Дата апісання: 07.09.2014.

У дадзеных выпадках (табл. 2 і 3) па 17 відаў-антрапафітаў, што складае адпаведна 41,5 і 54,8% ад колькасці сасудзістых раслін гэтых хвойнікаў. Усюды значны ўдзел інвазійных відаў у II і III ярусах. Асабліва актыўна паводзіць сябе бальзамін (бальсан) залозісты (*Impatiens glandulifera*). Яго праекцыйная покрывнасць дасягае 70%. У асноўным за кошт яго і бузіны чырвонай ступень сінантрапізацыі расліннасці на ПП № 6210 найвышэйшая – 63,7% (фота 1 і табл. 4). Базальнае хваёвае супольніцтва фактычна на мяжы поўнага разбурэння. Застаецца пакуль адзіны верхні ярус з хвой звычайнай і дамешкам елкі еўрапейскай.



Фота 1. Актыўная інвазія бальзаміну (бальсану) залозістага (*Impatiens glandulifera* Royle) у хваёвым супольніцтве на пакатым схіле пагорка 0,5 км на ўсход ад п. Мачулішчы Мінскага раёна

На ПП № 6213 перспектыва існавання хваёвага супольніцтва пад яшчэ большай пагрозай,

паколькі тут з хвой канкуруе ў дрэвавым ярусе магутны дамінант-эдыфікатар рабінія ілжэакацыя (*Robinia pseudoacacia*), якая размнажаецца інтэнсіўна і насеннем, і каранёвымі парасткамі. Лясное супольніцтва набывае дэрыватны характар. Разбураюцца ўшчэнт віды склад і вертыкальная структура хвойніку (фота 2).



Фота 2. Экспансія рабініі ілжэакацыі (*Robinia pseudoacacia* L.) у дубова-хваёвым супольніцтве ў верхняй частцы пакатага схілу пагорка 1,0 км на паўднёвы ўсход ад п. Мачулішчы Мінскага раёна

Як расліна-трансформер рабінія найбольш актыўна сябе паводзіць на поўдні Беларусі. Так, у Палескім радыяцыйна-экалагічным запаведніку на былых сялібных землях яна часта цалкам пануе, фармуе монадамінантныя ксератэрмныя рабініевыя супольніцтвы.



Табліца 4

## Сінантрапізацыя супольніцтваў на ПП трансекты 20 КУ «Магілёў» (2018 г.)

ПП	1 (эталон-1)	2 (экатон-1)	3 (край-1)	4 (цэнтр)	5 (край-2)	6 (экатон-2)	7 (эталон-2)
Агульная колькасць відаў	20	19	14	19	18	14	16
З іх антрапафітаў	1	2	8	9	12	7	5
Ступень сінантрапізацыі, %	0,57	12,9	65,6	72,6	83,3	64,6	11,6

Табліца 5

## Сінантрапізацыя супольніцтваў на ПП трансекты 53 КУ «Астрашыцкі Гарадок» (2018 г.)

ПП	1 (эталон-1)	2 (экатон-1)	3 (край-1)	4 (цэнтр)	5 (край-2)	6 (экатон-2)	7 (эталон-2)
Агульная колькасць відаў	20	12	12	15	11	11	13
З іх антрапафітаў	1	3	7	8	6	4	2
Ступень сінантрапізацыі, %	0,62	27,3	47,1	51,6	52,6	32,1	26,4

Нашы даследаванні, праведзеныя ў хвойніках паўз трасу ЛЭП і нафта- і газаводаў паказалі, што канцэнтрацыя сінантропаў, у тым ліку інвазійных адвентаў пры адсутнасці догляду, як правіла, найбольшая на адкрытай прасторы прасекі і змяншаецца рэзка з глыбінёй у лес. За 50 м ад краю лесу (эталон-1 і эталон-2) антрапафіты сустракаюцца адзінкава і ў асноўным з прадстаўнікоў дрэва-хмызняковай расліннасці, а то і зусім адсутнічаюць.

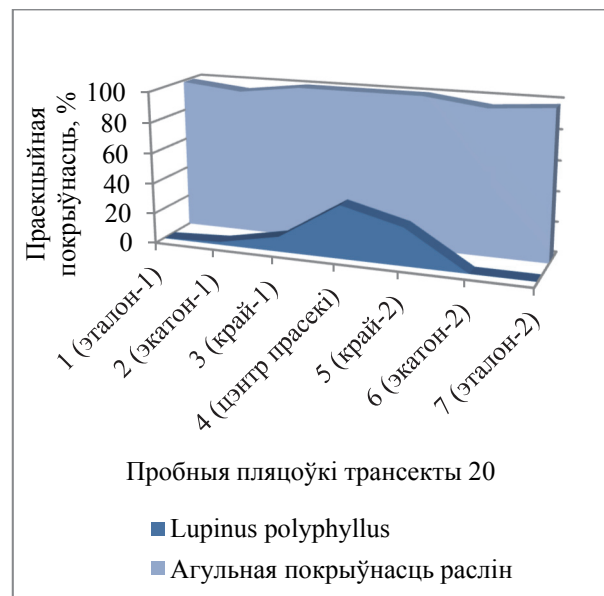
Гэта заканамернасць у сінантрапізацыі раслінных супольніцтваў і пры недастатковым доглядзе трасы, аднак, парушаецца паблізу сямлібных зонаў. Яскравым прыкладам з'яўляецца трансекта 53 ключавага ўчастка (КУ) «Астрашыцкі Гарадок», якая праходзіць у лясной экасістэме з перавагай у дрэвастоі хвой звычайнай. У табл. 5 паказана сінантрапізацыя супольніцтваў на ўсіх сямі пробных пляцоўках дадзенай трансекты.

Тут вельмі моцныя хмызняковыя і травяныя інвазіі. Разрэджаны і асветлены полаг хвойніку дазваляе развівацца падлеску з бузіны чырвонай і пухіраплодніка каліналістага (фота 3).



Фота 3. Інвазія пухіраплодніка каліналістага (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) на ПП-7 Тр-53 КУ «Астрашыцкі Гарадок», Мінскі раён

Праекцыйная пакрыўнасць іх дасягае адпаведна 30 (на ПП-6) і 60% (на ПП-7). На прасекі пад ЛЭП багатасны сумнік канадскі, радзей сустракаецца лубін шматлісты. Развівацца расліннасці шырокага экалагічнага спектру дазваляюць геамарфалагічная стракатасць, спрыяльнасць грануламетрычнага складу і аграхімічных уласцівасцяў глебы, блізкасць населенага пункта.



Прасторавая дынаміка лубіну шматлістага (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) на фоне агульнай праекцыйнай пакрыўнасці раслін па лініі трансекты 20 КУ «Магілёў»

Вось прыклад пашырэння інвазіяў на ўсход г. Магілёва (5,0 км на ўсход ад цэнтру горада). Як паказвае табл. 4, на Тр-20 КУ «Магілёў» сінантрапізацыяй ахоплены ўсе фітаэнозы, але найбольш на прасекі. Ступень сінантрапізацыі тут дасягае 83,3%. Пры гэтым адзначана вялікая колькасць адвентцыйных відаў раслін (4) розных

жышчэвых формаў: з дрэў – клён ясенялісты, з хмызнякоў – пухіраплоднік каліналісты і бузіна чырвоная, з траў – лубін шматлісты.

Прасторавая дынаміка інвазійнага лубіну адлюстравана на малюнку (гл. с. 96).

Паўсюднае і багатаснае распаўсюджванне антрапафітаў сведчыць пра высокую ступень рэкрэацыйнай нагрукі на прыгарадныя лясныя экасістэмы.

**Заклучэнне.** Такім чынам, вынікі аналізу сінантропнага кампанента расліннага покрыва хваёвых лясоў Беларусі паказваюць істотны ўдзел і фітацэнатычную актыўнасць 32 інвазійных відаў, прыналежаючых да розных жышчэвых формаў. У сістэме цэнатыпаў Раменскага – Грайма

інвазійныя віды размеркаваны наступным чынам: 16 відаў раслін – віяленты (С-тып), здольныя радыкальна трансфармаць абарыгенныя фітацэнозы і ўтвараць уласныя, з непадзельным дамінаваннем, 14 – патыенты (S-тып) і 2 – эксплерэнты (R-тып). Вялікая прадстаўленасць інвазій у хваёвых лясах абумоўлена шэрагам фактараў: шырокай экалагічнай амплітудай хвойнікаў; высокай асветленасцю асноўнага, дрэвавага яруса; недастатковай цэнозаўстойлівасцю хвой; адноснай спрыяльнасцю эдафічных умоў; блізкасцю населеных пунктаў і транспартных камунікацый. Пераважнай прычынай актыўнай дынамікі інвазійных відаў з’яўляецца пашырэнне і інтэнсіфікацыя антрапагенных трансфармацый прыроднага асяроддзя.

### Літаратура

1. Гнатюк Е. П., Крышень А. М. Методы исследования ценофлор (на примере растительных сообществ вырубок Карелии). Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2005. 68 с.
2. Растения-агрессоры. Инвазионные виды на территории Беларуси / Д. В. Дубовик [и др.]. Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2017. 192 с.
3. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2018 года) / Государственный комитет по имуществу Респ. Беларусь. Минск, 2018. 57 с.
4. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.-P., Raus T., Čarni A., Šumberová K., Willner W., Dengler J., García R. G., Chytrý M., Hájek M., Di Pietro R., Iakushenko D., Pallas J., Daniëls F. J. A., Bergmeier E., Santos Guerra A., Ermakov N., Valachovič M. & 13 others. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities // Applied Vegetation Science. 2016. Vol. 19, issue S1. P. 1–264.
5. Сцепановіч Я. (І.) М. Фітацэнаразнастайнасць расліннасці Беларусі // Ботаника: Исследования. Минск: ИООО «Право и экономика», 2006. Вып. XXXIV. С. 264–281.
6. Цвирко Р. В. Синтаксономическая и типологическая структура сосновых лесов Беларуси: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 2019. 24 с.
7. Сінтаксанамічная структура і сазалагічная ацэнка расліннасці Беларусі: справаздача аб НДР (заклуч.) / Беларускі дзяржаўны педагагічны ўніверсітэт імя Максіма Танка; кіраўнік работы І. М. Сцепановіч. № ДЗР 20140983; дамова № 775. Мінск, 2015. 216 с.
8. Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
9. Раменский Л. Г. Избранные работы: Проблемы и методы изучения растительного покрова / ред. кол.: В. И. Василевич (отв. ред.) [и др.]. Л.: Наука, Ленинград. отд-ние, 1971. 335 с.
10. Grime J. P. Plant Strategies and Vegetation Processes. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 1979. 222 p.
11. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.
12. Corley M. F. V., Crundwell A. C., Düll A. C., Hill R. & Smith A. J. E. Mooses of Europe and the Azores, an annotated list of species, with synonyme from the recent literature // J. of Bryol. 1981. Vol. 11, no. 4. P. 609–689.

### References

1. Gnatyuk Ye. P., Kryshen' A. M. *Metody issledovaniya tsenoflor (na primere rastitel'nykh soobshchestv vyrubok Karelii)* [Methods of research on coenoflor (by the example of plant communities of Karelia logging)]. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2005. 68 p.
2. Dubovik D. V., Skuratovich A. N., Parfenov V. I., Lebed'ko V. N., Savchuk S. S. *Rasteniya-agressory. Invazionnyye vidy na territorii Belarusi* [Aggressor plants. Invasive species on the territory of Belarus]. Minsk, Belaruskaya Entsyklopedyya imya P. Brouki Publ., 2017. 192 p.
3. *Reyestr zemel'nykh resursov Respubliki Belarus' (po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2018 goda)* [Register of land resources of the Republic of Belarus (as of January 1, 2018)]. Minsk, 2018. 57 p. (In Russian)
4. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.-P., Raus T., Čarni A., Šumberová K., Willner W., Dengler J., García R. G., Chytrý M., Hájek M., Di Pietro R., Iakushenko D., Pallas J., Daniëls F. J. A., Bergmeier E., Santos Guerra A., Ermakov N., Valachovič M. & 13 others. Vegetation of Europe: hierarchical

floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*, 2016, vol. 19, issue S1, pp. 1–264.

5. Stepanovich Ya. (I.) M. Phytocenotic variety of vegetation of Belarus. *Botanika: Issledovaniya* [Botany: Research]. Minsk, 2006, issue XXXIV, pp. 264–281 (In Belarusian).

6. Tsvirko R.V. *Sintaksonomicheskaya i tipologicheskaya struktura sosnovykh lesov Belarusi. Avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Syntaxonomic and typological structure of pine forests of Belarus. Abstract of thesis cand. of biol. sci.]. Minsk, 2019. 24 p.

7. Stepanovich I. M. [et al.]. *Sintaksanamichnaya struktura i sazagalichnaya atsenka rastlinnastsy Belarusi* [Syntaxonomic structure and zoological assessment of vegetation of Belarus]. SR № 20140983; contract number 775. Minsk, 2015. 216 p.

8. Ramenskiy L. G. *Vvedeniye v kompleksnoye pochvenno-geobotanicheskoye issledovaniye zemel'* [Introduction to the integrated soil-geobotanical study of land]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 1938, 620 p.

9. Ramenskiy L. G. *Izbrannyye raboty: Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova* [Selected works: Problems and methods for studying vegetable shelter]. Ed. coll.: V. I. Vasilevich (ed.) [et al.]. Leningrad, Nauka, Leningradskoye otdeleniye Publ., 1971. 335 p.

10. Grime J. P. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 1979. 222 p.

11. Cherepanov S. K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and adjacent states]. St. Petersburg, Mir i sem'ya Publ., 1995. 990 p.

12. Corley M. F. V., Crundwell A. C., Düll A. C., Hill R. & Smith A. J. E. Mooses of Europe and the Azores, an annotated list of species, with synonyme from the recent literature. *J. of Bryol*, 1981, vol. 11, no. 4, pp. 609–689.

### Інфармацыя пра аўтара

**Сцепановіч Іосіф Міхайлавіч** – доктар біялагічных навук, галоўны навуковы супрацоўнік. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча НАН Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: jazep.st@hotmail.com

### Information about the autor

**Stepanovich Iosiph Mikhaylavich** – DSc (Biology), Chief Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademichnaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jazep.st@hotmail.com

Пасмыніў 27.03.2019

УДК 630\*911–048.34

**М. В. Юшкевич**

Белорусский государственный технологический университет

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА БЕЛАРУСИ**

Дана детальная оценка динамики структуры земель лесного фонда Беларуси и спрогнозировано ее состояние в ближайшие десятилетия. Установлено, что структура земель в последние десять лет улучшилась. Существует некоторый риск ее временного ухудшения, связанный с увеличением площади лесного фонда и значительными объемами лесовосстановительных мероприятий после рубок главного пользования и сплошных санитарных рубок вследствие изменения климата. Оптимальная структура земель основывается на принципах устойчивого лесопользования. Необходимо увеличить долю лесных земель на 0,5–1,0%, а также покрытых лесом земель на 1,5–2,5%. Долю нелесных земель в ближайшие десятилетия можно спрогнозировать в интервале 8,6–9,7%, а их оптимальный уровень должен быть 8,0–9,0% (максимум 10,0%). Оптимальная доля не покрытых лесом земель может варьироваться в пределах 1–2%. Покрытые лесом земли должны составлять 94–97% от лесных площадей, т. е. от 85,5–86,5 до 88,5–89,5% площади всего лесного фонда. При этом в ближайшие десятилетия можно прогнозировать их изменение в пределах от 92–93 до 95–96% и от 84–85 до 86–87% соответственно.

**Ключевые слова:** земли лесного фонда, структура, динамика, прогноз, оптимизация.

**M. V. Yushkevich**

Belarusian State Technological University

**OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE OF FOREST LANDS OF BELARUS**

A detailed assessment of the dynamics of the structure of forest lands in Belarus is given and its condition is predicted in the coming decades. The structure of land in the last ten years has improved. There is some risk of its temporary deterioration associated with an increase in forest area and significant areas of forest restoration after final felling and clear sanitary felling due to climate change. The optimal land structure is based on the principles of sustainable forest management. It is necessary to increase the share of forest lands by 0.5–1.0%, as well as forested land by 1.5–2.5%. The share of non-forest lands in the coming decades can be predicted in the range of 8.6–9.7%, and we can also recommend adhering to the optimal level of 8.0–9.0% (maximum 10.0%). The optimal proportion of non-forest-covered land can vary within 1–2%. Covered with forest land should be 94–97% of forest land, i.e. from 85.5–86.5 to 88.5–89.5% of the total forest fund area. In the coming decades, we can predict their change in the range from 92–93 to 95–96% and from 84–85 to 86–87%, respectively.

**Key words:** forest land, structure, dynamics, forecast, optimization.

**Введение.** Рациональное использование лесных земель в системе землепользования невозможно без изучения и обобщения данных о сложном процессе их трансформации в условиях растущего антропогенного воздействия и развития производства. Основным назначением земель государственного лесного фонда является использование лесных ресурсов в народном хозяйстве, прежде всего при ведении лесного хозяйства, охране биологического разнообразия, в процессе организации отдыха населения республики и др. Изменение численности населения, урбанизация, развитие сельского и лесного хозяйства, промышленности влияют на структуру земель [1–6]. Постоянная трансформация и варьирование соотношения земель лесного фонда Беларуси за последние 60 лет обуславливалась исторически сложившейся обстановкой, природно-климатическими условиями территории, социальными и экономическими

факторами, функциональными особенностями и структурой земель лесного фонда лесохозяйственных предприятий. Появлялось больше нелесных и не покрытых лесом земель, и, в целом, наблюдалась существенная динамика лесистости. Рост доли городского населения в Беларуси (2011 г. – 75,1%, 2017 г. – 77,9%) наряду со снижением численности населения приводит к постепенному увеличению площади земель лесного фонда, что, несомненно, отразится на их структуре [7–9].

Целью исследования является изучение современного состояния и динамики земель лесного фонда Республики Беларусь, а также прогноз их структуры с учетом планов развития лесного хозяйства [10–11].

**Основная часть.** При оптимизации видовой структуры земель лесного фонда необходимо ориентироваться на создание таких условий, которые бы обеспечили рациональное использование

и воспроизводство лесных ресурсов хозяйства [6, 12]. Выбор оптимального соотношения земель представляет собой непростую задачу, так как не разработаны методические подходы и нет определенных критериев соотношения тех или иных видов земельных угодий как наиболее оптимальных для конкретной территории с учетом требований устойчивости. Так как оптимальное соотношение угодий находится в определенном диапазоне разнообразных вариантов, выбор лучшего должен зависеть и от экономического потенциала лесохозяйственных предприятий. Сравнительная оценка, анализ и прогноз структуры земель осуществлялись на основании данных Государственного учета лесного фонда и Государственного лесного кадастра Республики Беларусь.

Основным видом земель, выполняющим хозяйственно-экологическую, лесоводственную и экономическую функции, являются покрытые лесом земли, входящие в состав лесных земель. Доля лесных земель напрямую зависит от площади нелесных, поэтому вначале рассмотрим состояние и динамику нелесных земель.

По данным Государственного учета лесного фонда Беларуси, в 2006 г. имелось 9,8% нелесных земель. К 2017 г. их доля снизилась до 9,0%. Это минимальное значение за прошедшие 60 лет (1956 г. – первый Государственный учет лесного фонда Беларуси). В последние десятилетия отмечается положительная тенденция к снижению площади этих земель. На землях Министерства лесного хозяйства (Минлесхоза) и учебно-опытных хозяйств уровень использования земель лесного фонда значительно выше. Так, наименьшая представленность нелесных земель (6,9%) наблюдалась по Минлесхозу в 70–80-х гг. XX в. (2017 г. – 8,1%). По Негорельскому учебно-опытному лесхозу (НУОЛХ) эта цифра значительно ниже (2004 г. – 3,7%, 2017 г. – 4,3%) [8, 9, 13–15].

Рассмотрим структуру нелесных земель Республики Беларусь. Наибольшее долевое участие занимают земли под болотами (2017 г. и 2006 г. – 5,8%), дорогами и просеками (2017 г. – 1,2%, 2006 г. – 1,8%), водами (2017 г. – 0,7%, 2006 г. – 0,8%), неиспользуемые, нарушенные и другие (2017 г. – 1,1%, 2006 г. – 0,9%). Площадь остальных видов нелесных земель существенно меньшая (2017 г. – 0,2%, 2006 г. – 0,6%).

Болота в 1956 г. занимали 7,7% площади. После массовых работ по их осушению и лесовосстановлению к 1994 г. их доля сократилась до 3,8%. Однако к 2006 г. эта доля опять увеличилась до 5,8%, что связано с передачей земель лесхозам от других держателей лесного фонда. Таким образом, принимая во внимание постепенное увеличение площади лесного фонда, возможную передачу выработанных торфяников,

заболоченных сельскохозяйственных угодий, повторное заболачивание и лесовосстановление на этих землях, предполагаем, что их доля будет находиться на уровне 5,5–6,0%, а оптимальное участие можно установить в интервале 5,5–6,5%.

Доля дорог и просек постоянно возрастала и в 1994–2001 гг. составляла 1,2%. К 2006 г. она выросла до 1,8%, а к 2017 г. опять снизилась до 1,2%. Данное изменение в 2006 г. было связано скорее с методическими особенностями учета и не отражало фактической ситуации. В лесопарковой части лесов зеленой зоны Минска и в НУОЛХ этот вид земель имеет участие в пределах 2,1–2,7%. С учетом строительства новых лесных дорог прогнозируем рост доли земель под транспортными путями в ближайшие десятилетия до 1,3–1,5%, а оптимальное участие принимаем в интервале 1,5–2,0% [8].

Земли под водами незначительно увеличили свою долю с 1956 по 1994 г. с 0,2 до 0,3%. В различных учреждениях она значительно колеблется. Например, в НУОЛХ и курортной зоне государственного природоохранного учреждения (ГПУ) «Национальный парк (НП) «Нарочанский» она составляет 0,1–0,2%, в ГПУ «НП «Беловежская пушча» и Полоцком учебно-опытном лесхозе – 0,6–0,7%. Дальнейшую динамику этих земель установить сложно, поэтому прогнозируем их долю на уровне 0,6–0,8%.

Неиспользуемые, нарушенные и другие земли (ранее все три вида относились к прочим) занимают 1,1%. Их доля существенно снизилась вследствие вывода этих земель из состава лесного фонда и лесоразведения (1994 г. – 4,2%, 2001 г. – 2,3%, 2006 г. – 0,9%). В ближайшие десятилетия рост площади лесного фонда и развитие лесной рекреации может временно увеличить их участие до 1,2–1,4%. Административные решения могут значительно изменить эту долю.

С учетом необходимого дальнейшего снижения площадей этих земель путем лесовосстановления или вывода из состава лесного фонда их максимально допустимую долю можно установить около 0,3–0,6%.

В 2006 г. пахотные, сенокосные и пастбищные земли суммарно занимали 0,5%. Доля пахотных земель оставалась стабильной (0,2%) за послевоенный период при снижении площади с 2001 г., а доля сенокосов и пастбищ снизилась с 1994 по 2006 г. в два раза (с 0,6 до 0,3%). К 2017 г. площадь данных трех видов земель продолжила снижаться, а доля составила 0,2%. В ведении Управления делами Президента Республики Беларусь (в основном национальные парки и заповедник) находится 77% этих земель, что связано с организацией охотничьего хозяйства, экологического туризма и т. д.

В этой связи можно прогнозировать и считать оптимальным участие данных видов земель на уровне 0,1–0,2%. Другие оставшиеся виды земель (сады, постройки и т. д.) в сумме занимают менее 0,1%. Таким образом, с учетом сложившейся структуры лесных земель Беларуси прогнозируем их долю в ближайшие десятилетия в интервале 8,6–9,7%, а также можем рекомендовать придерживаться оптимального уровня в 8,0–9,0% (максимум 10,0%). Соответственно лесные земли должны занимать от 91 (90) до 92%.

Покрытые лесом земли занимают 86,3% площади лесного фонда и 94,8% площади лесных земель (в 2006 г. 83,8 и 92,9% соответственно), т. е. качество структуры лесных земель за 10 лет улучшилось. Их доля постепенно уменьшалась с 1956 г. (85,3 и 95,8% соответственно с учетом больших площадей рубок на тот момент) по 2006 г. Еще в 2001 г. покрытые лесом земли составляли 94,9% от всех лесных земель. Такое снижение связано было в основном со значительным увеличением площадей под пустолями, прогалинами и под несомкнувшимися лесными культурами. Максимальное значение этого показателя достигало 96,2%.

В НУОЛХ и унитарном предприятии (УП) «Минское лесопарковое хозяйство» доля покрытых лесом земель достигала 90–93% и 96–97% соответственно. Такого высокого уровня достичь в обычном лесохозяйственном учреждении будет достаточно трудно или невозможно. Связано это со спецификой ведения хозяйства в рекреационно-оздоровительных лесах (запретом рубок главного пользования, малыми объемами создания лесных культур и т. д.). Однако уровень в 95% лесных земель (и даже более высокий) вполне достижим, что подтверждается вышеприведенными данными.

Сравним этот показатель со сведениями по Минлесхозу (87,5 и 95,2% соответственно). Здесь доля покрытых лесом земель среди лесных за послевоенный период колебалась и достигала максимумов на стыке 70-х и 80-х гг. XX в., когда равнялась 98,4%. В ближайшем будущем с увеличением объемов главного пользования за счет увеличения площадей спелых древостоев доля покрытых лесом земель будет варьироваться. Наблюдается также постоянный рост доли древостоев искусственного происхождения: 1956 г. – 9,7 (11% от покрытых лесом земель), 2006 г. – 18,8 (22,0%), 2017 г. – 21,0 (24,3%). Почти четверть белорусских лесов – это лесные культуры.

Для установления более точных долей видов лесных земель рассмотрим остальные составляющие. Не покрытые лесом земли включают в себя рубки, прогалины и пустоши, гари и погибшие

насаждения. Доля последних в отдельных учреждениях, как правило, ниже 0,1%. По республике она в последние годы достаточно стабильна (0,1%) и даже с учетом последствий изменения климата не должна превышать 0,1–0,2%. Прогалины и пустоши занимали в 1994 г. 1,1% площади лесного фонда, в 2006 г. – 2,6%, а в 2017 г. – 1,3%. В НУОЛХ их доля составляет 0,6%, в Полоцком учебно-опытном лесхозе – 0,2%, в курортной зоне ГПУ «НП «Нарочанский» – 0,4%, а в пригородной зоне Минска варьируется от 1,0 до 2,7%. Возможны дальнейшие колебания их площадей, связанные с ростом площади лесного фонда. Их участие в ближайших десятилетиях может как снизиться до 1,0–1,2%, так и вырасти до 1,5–2,0%.

Доля рубок постоянно варьировалась: снижалась до 2001 г. (0,7%) и возрастала в последние годы (1,3%). Максимум она достигала в 1956 г. (2,4%). В особо охраняемых природных территориях и лесопарковых частях зеленых зон рубки не превышали 0,3% площади (обычно около 0,1%). В НУОЛХ их доля составляет 0,6%, в Полоцком учебно-опытном лесхозе – 1,6%. Нужно отметить, что к рубкам относят площади, оставляемые под естественное возобновление до перевода их в покрытые лесом земли. Прогнозируем с учетом увеличения объемов рубок леса их участие в диапазоне 1,5–2,5%.

По рекомендациям В. Ф. Багинского доля не покрытых лесом земель не должна превышать 1,0% [16]. С учетом больших объемов лесовосстановления и лесоразведения (около 39 тыс. га), объемов рубок главного пользования (30–35 тыс. га), сплошных санитарных рубок и погибших насаждений (до 35–40 тыс. га) можно рекомендовать следующую оптимальную структуру рассматриваемых земель:

– гари и погибшие насаждения – не более 0,1%;

– доля прогалин и пустошей должна составлять не более 0,1–0,3%;

– доля рубок может варьироваться, но при оптимальной возрастной структуре не должна превышать 1,0–1,5%. В целом оптимальная площадь не покрытых лесом земель может варьироваться в пределах 1–2%.

Достаточно большие площади заняты несомкнувшимися лесными культурами (2017 г. – 1,9%, 2006 г. – 2,8%). От изменения этого показателя непосредственно зависит площадь покрытых лесом земель. В соответствии с текущими и проектируемыми объемами создания лесных культур и естественного лесовозобновления, динамикой площадей данных земель можно прогнозировать и считать оптимальной долю несомкнувшихся лесных культур в пределах 1,5–2,5% [10, 11]. Площади лесных питомников и плантаций могут незначительно вырасти, но не превысят

0,1%. В данном случае покрытые лесом земли должны составлять 94–97% от лесных площадей, т. е. от 85,5–86,5 до 88,5–89,5% площади всего лесного фонда. При этом в ближайшие десятилетия можно прогнозировать их изменение в пределах от 92–93 до 95–96% и от 84–85 до 86–87% соответственно.

**Заключение.** Таким образом, структура земель лесного фонда Республики Беларусь в последние десять лет улучшилась. Существует некоторый риск ее временного ухудшения, связанный с увеличением площади лесного фонда и значительными объемами лесовосстановительных мероприятий после рубок главного пользования и сплошных санитарных рубок вследствие изменения климата. Если этот процесс будет происходить постепенно, то лесное

хозяйство республики сможет предотвратить отрицательные последствия, достичь оптимальной структуры земель и поддерживать ее.

В целом возможно увеличение доли лесных земель на 0,5–1,0% за счет лесовосстановительных мероприятий и снижения доли прочих земель, а также покрытых лесом земель на 1,5–2,5% за счет лесоразведения на пустырях и прогалинах, оптимизации возрастной структуры лесов. Достижению данных уровней будет способствовать, в частности, и расширенное применение в лесном хозяйстве республики несплошных рубок главного пользования, а также увеличение объемов искусственного и естественного лесовосстановления [17]. Все это позволит предотвратить нежелательную трансформацию лесных и, особенно, покрытых лесом земель в иные виды земель.

### Литература

1. Chirichella R., Mustoni A., Apollonio M. Alpine landscape and canopy cover from 1973 to 2011: are roe and red deer population dynamics linked? // *Wildlife Research*. 2017. Vol. 44. P. 504–513.
2. Characteristics and driving factors of land use change in the Bojiang Lake Basin in Ordos Plateau / G. Yan [et al.] // *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. 2017. Vol. 25. P. 1693–1706.
3. Canaz S., Aliefendioglu Y., Tanrivermis H. Change detection using Landsat images and an analysis of the linkages between the change and property tax values in the Istanbul Province of Turkey // *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 200. P. 446–455.
4. Influence of Changes in Land Use/Cover on Carbon Effect in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration / T. Li [et al.] // *Journal of Ecology and Rural Environment*. 2016. Vol. 32. P. 539–545.
5. Exploring the links between social metabolism and biodiversity distribution across landscape gradients: A regional-scale contribution to the land-sharing versus land-sparing debate / J. Marull [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 619–620. P. 1272–1285.
6. Native forest replacement by exotic plantations in southern Chile (1985–2011) and partial compensation by natural regeneration / C. Zamorano-Elgueta [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 345. P. 10–20.
7. Статистический ежегодник. Республика Беларусь. 2017. Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2017. 506 с.
8. Динамика структуры и продуктивности лесных формаций в Республике Беларусь / Л. Н. Рожков [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство*. 2007. Вып. XV. С. 98–102.
9. Юшкевич М. В. Современное состояние и динамика зеленых зон Беларуси // *Труды БГТУ*. 2012. № 1: Лесное хозяйство. С. 142–145.
10. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 год. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2014. 20 с.
11. Государственная программа «Белорусский лес» на 2016–2020 годы: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18.03.2016 № 215. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2016. 97 с.
12. Реймерс Н. Ф. Природопользование: слов.-справ. М.: Мысль, 1990. 637 с.
13. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2017. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2017. 63 с.
14. Леса БССР и пути повышения их производительности. Минск: Гос. изд-во БССР, 1955. 264 с.
15. Юшкевич М. В. Совершенствование структуры земель лесного фонда // *Наука о лесе XXI века: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 17–19 ноября 2010 г. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси*, 2010. С. 104–108.
16. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси: История, современное состояние, проблемы и перспективы. Минск: Беларус. навука, 1996. 367 с.
17. Рожков Л. Н. Экологически ориентированное лесоводство. Минск: БГТУ, 2005. 182 с.

## References

1. Chirichella R., Mustoni A., Apollonio M. Alpine landscape and canopy cover from 1973 to 2011: are roe and red deer population dynamics linked? *Wildlife Research*, 2017, vol. 44, pp. 504–513.
2. Yan G., Yan G., Zhang Z., Liang K., Lou H. Characteristics and driving factors of land use change in the Bojiang Lake Basin in Ordos Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, vol. 25, pp. 1693–1706.
3. Canaz S., Aliefendioglu Y., Tanrivermis H. Change detection using Landsat images and an analysis of the linkages between the change and property tax values in the Istanbul Province of Turkey. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 200, pp. 446–455.
4. Li T., Yang Z., Gan D., Wang Z., Chen X., Qi Z. Influence of Changes in Land Use/Cover on Carbon Effect in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2016, vol. 32, pp. 539–545.
5. Marull J., Tello E., Bagaria G., Font X., Cattaneo C., Pino J. Exploring the links between social metabolism and biodiversity distribution across landscape gradients: A regional-scale contribution to the land-sharing versus land-sparing debate. *Science of The Total Environment*, 2018, vol. 619–620, pp. 1272–1285.
6. Zamorano-Elgueta C., Benayas J.-M. R., Cayuela L., Hantson S., Armenteras D. Native forest replacement by exotic plantations in southern Chile (1985–2011) and partial compensation by natural regeneration. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 345, pp. 10–20.
7. *Statisticheskiy ezhegodnik. Respublika Belarus'. 2017* [Statistical Yearbook. Republic of Belarus. 2017]. Minsk, Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus' Publ., 2017. 506 p.
8. Rozhkov L. N., Yushkevich M. V., Petrashkevich A. A., Yeroshkina I. F. Dynamics of structure and productivity of forest formations in the Republic of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2007, issue XV, pp. 98–102 (In Russian).
9. Yushkevich M. V. The current state and dynamics of suburban forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 1: Forestry, pp. 142–145 (In Russian).
10. *Strategicheskiy plan razvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period s 2015 po 2030 god* [Strategic plan for the development of the forestry sector for the period from 2015 to 2030]. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2014. 20 p.
11. *Gosudarstvennaya programma "Belorusskiy les" na 2016–2020 gody: utv. postanovleniyem Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 18.03.2016 № 215* [The state program "Belarusian Forest" for 2016–2020: approved. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of March 18, 2016, no. 215]. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2016. 97 p.
12. Reymers N. F. *Prirodopol'zovaniye* [Nature management]. Moscow, Mysl' Publ., 1990. 637 p.
13. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2017* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01/01/2017]. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2017. 63 p.
14. *Lesa BSSR i puti povysheniya ikh proizvoditel'nosti* [BSSR forests and ways to increase their productivity]. Minsk, Gosudarstvennoye izdatel'stvo BSSR Publ., 1955. 264 p.
15. Yushkevich M. V. Improving the structure of forest land. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauka o lese XXI veka"* [Proceedings of the international scientific-practical conference "Science of the forest of the XXI century"]. Gomel, 2010, pp. 104–108 (In Russian).
16. Baginski V. F., Esimchik L. D. *Lesopol'zovaniye v Belarusi: Istoriya, sovremennoye sostoyaniye, problemy i perspektivy* [Forest management in Belarus: History, current state, problems and prospects]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1996. 367 p.
17. Rozhkov L. N. *Ekologicheski oriyentirovannoye lesovodstvo* [Ecologically oriented forestry]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 182 p.

## Информация об авторе

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

## Information about the author

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

Поступила 27.11.2018



# ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

---

УДК 630\*232

**М. К. Асмоловский<sup>1</sup>, М. В. Ярошук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Негорельский учебно-опытный лесхоз

## КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСЕВА СЕМЯН ХВОЙНЫХ ПОРОД В ОТКРЫТЫЙ ГРУНТ

Рассмотрены конструктивные и технологические особенности посева семян основных лесообразующих пород в открытом грунте лесного питомника. Установлено, что на выбор схемы посева оказывают влияние параметры ходовой части тракторов и лесной сеялки. Тракторы Т-25А, МТЗ-320.4 и МТЗ-80.1, рекомендованные к применению для работ в питомнике, имеют разные размеры между передними и задними колесами, которые определяются типоразмером шин. Поэтому надо учитывать, что схема посева должна обеспечивать возможность выполнения последующих видов работ, в том числе по механизированному уходу за сеянцами. Предложены схемы посева семян хвойных пород с измененными параметрами посевной ленты и выполнена проверка величины нормы высева с целью прогнозирования выхода посадочного материала с единицы площади в зависимости от качества семян и их грунтовой всхожести. Получены данные по выходу сеянцев сосны обыкновенной, ели европейской и лиственницы в зависимости от схемы посева, нормы высева и предпосевной обработки семян.

**Ключевые слова:** сеянец, выход посадочного материала, открытая корневая система, схема посева, норма высева, посевная машина.

**M. K. Asmalouski<sup>1</sup>, M. V. Jarashuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Negorelsky Experimental Forestry

## CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF SEEDING FOREST SEEDS OF CONIFEROUS BREEDS IN OPEN GROUND

The design and technological features of sowing seeds of the main forest-forming species in the open ground of the forest nursery are considered. The parameters of the tractor chassis and the parameters of the forest seeder, have an impact on the choice of the scheme of sowing. Tractors T-25A, MTZ-320.4 and MTZ-80.1, recommended for use in the nursery, have different sizes between the front and rear wheels, which are determined by the tire size. The scheme of sowing should provide the possibility of performing subsequent types of work, including mechanized care of seedlings. The schemes of sowing of coniferous seeds with changed parameters of the sowing belt are proposed and the value of the seeding rate is checked in order to predict the yield of planting material per unit area depending on the quality of seeds and their soil germination. The data on the yield of seedlings of Scots pine, spruce and larch, depending on the scheme of sowing, seeding rate and pre-sowing seed treatment.

**Key words:** seedling, planting material yield, open root system, seeding scheme, seeding rate, sowing machine.

**Введение.** Государственной программой «Белорусский лес» предстоит достичь не менее 50% в 2020 г. доли посева и посадки лесных культур на генетико-селекционной основе в общей площади лесовосстановления и лесоразведения.

Эффективность создания лесных культур по-прежнему будет зависеть от вида и качества используемого посадочного материала.

При создании насаждений используется стандартный лесной посадочный материал, включая селекционный с улучшенной наследственной основой. Это могут быть сеянцы, саженцы, черенки,

отводки, корневые отпрыски и др. При закладке культур ели предпочтение отдается саженцам (2 + 2 или 2 + 3). Культуры сосны, как правило, создаются 1–2-летними сеянцами с открытой или закрытой корневой системой, дуба – 1–2-летними сеянцами с открытой корневой системой.

Высококачественным считается посадочный материал, у которого имеются определенные размеры, гармоничное развитие всех частей растения, оптимальное соотношение их масс с накоплением необходимого количества питательных веществ. В этом случае обеспечи-

вается хорошая приживаемость и рост сеянцев и саженцев на лесокультурных площадях.

Качество сеянцев и саженцев характеризуется высотой стволика, диаметром корневой шейки и другими внешними признаками, а также степенью развития массы отдельных частей растений и их соотношением. Соотношение длины наземной части и корневой системы должно находиться в диапазоне от 2:1 до 3:1. Отклонение этого соотношения в меньшую сторону приводит к снижению показателей качества посадки лесных культур.

В нашей стране доминирующее положение занимает посадочный материал с открытой корневой системой (ОКС), выращенный в постоянных лесных питомниках на открытых площадях.

В настоящее время технология выращивания посадочного материала в открытом грунте базируется на применении комплекса машин и орудий Egedal, агрегируемых с тракторами класса тяги 6–14 кН.

Посев семян в базисных питомниках осуществляется сеялками Egedal, мод. 83. Существует необходимость периодически уточнять данные по схемам и нормам высева семян хвойных пород в связи с вносимыми конструктивными и технологическими изменениями.

**Основная часть.** В лесном питомнике Негорельского УОЛХ периодически выполняются исследования, направленные на уточнение норм высева семян хвойных пород в зависимости от схемы посева и прогнозного выхода сеянцев с единицы площади. Уже накоплен опыт в направлении установления оптимальных норм высева семян [1]. При проведенных исследованиях технология работ в питомнике базировалась на применении тракторов Т-25А и МТЗ-82.1, схема посева представлена на рис. 1.

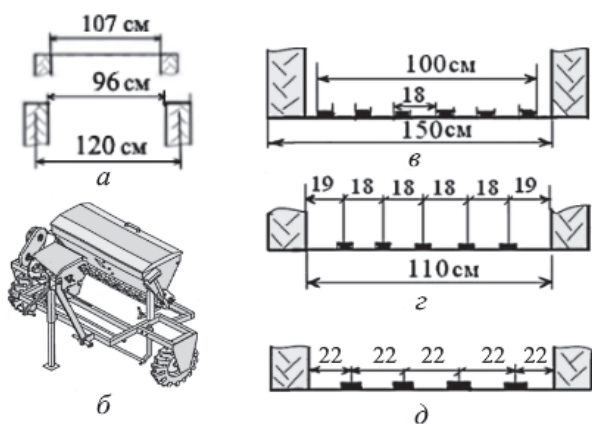


Рис. 1. Схемы высева сеялкой Egedal, мод. 83:  
 а – размеры колеи трактора Т-25; б – схема сеялки;  
 в – посев шести строчек в ленте;  
 г – пятистрочный посев;  
 д – четырехстрочный посев

Для того чтобы обеспечить параметр ширины ленты 1,5 м при данной схеме посева с трактором Т-25А, необходимо каждый раз осуществлять заезд на смежную ленту с отступом на 15 см от промаркированной шиной трактора дробки, т. е. примерно на ширину переднего колеса. Это необходимо выполнять для того, чтобы ширина ленты давала возможность двигаться другим агрегатам в составе с трактором МТЗ-82.1, например при проведении агротехнического ухода за всходами и сеянцами.

Посев семян осуществлялся с разной нормой по 4 ленты в каждой. Норма высева варьировалась от 19 до 60 кг/га (табл. 1).

Партия семян проходила проверку на всхожесть, средняя масса 1000 семян составляла 6,44 г, чистота 99%, всхожесть – 95%, энергия прорастания – 88%. Установлено, что рекомендуемой нормой высева семян сосны обыкновенной при 4-строчно-ленточном посеве и сроке выращивания 1 год является значение 42–52 кг/га.

Весной 2018 г. проведены исследования, связанные с началом эксплуатации трактора МТЗ-320.4 в питомнике, параметры которого потребовали изменений в схеме посева и проверки рекомендованных норм высева.

В посевном отделении применен ленточный посев (ширина строчки 8 см), состоящий из четырех строчек, расстояние между которыми меньше, чем расстояние между лентами. Расстояние между крайними строчками 80 см, оно обеспечивает защитную зону, необходимую в будущем для проведения последующих работ по уходу за посевами.

Тракторы МТЗ-320.4, Т-25А и МТЗ-80.1 имеют разные размеры между передними и задними колесами, которые определяются типоразмером шин, а также колеей трактора. Это обстоятельство вынудило откорректировать схему посева таким образом, чтобы обеспечить выполнение последующих видов работ, в том числе по уходу за сеянцами, используя все рекомендованные для этих целей модели тракторов (рис. 2).

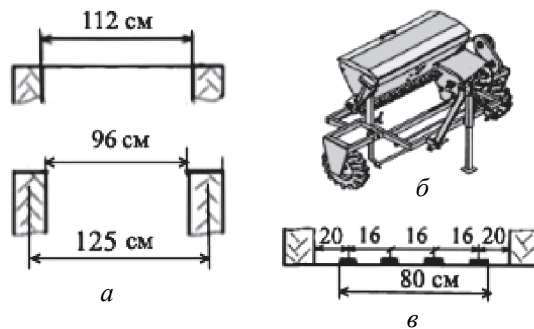


Рис. 2. Схема посева с трактором МТЗ-320.4:  
 а – размеры колеи трактора; б – схема сеялки;  
 в – четырехстрочный посев

Таблица 1

## Выбор количества сеянцев с равномерным размещением

Показатель	Величина			
	Норма высева семян сосны, кг/га	19,0	38,0	51,0
Фактическое количество всходов на 1 м <sup>2</sup> , шт.	98	183	214	250
Количество всходов на ленте (87×1,5 м), тыс. шт.	8,52	15,9	16,8	21,75
Всхожесть и сохранность, %	40	37,3	32,6	32,4

Такое изменение параметров посевной ленты также потребовало и проверки нормы высева семян хвойных пород. Для этого были заложены посевные отделения сосны обыкновенной, лиственницы европейской и ели европейской с измененной схемой посева семян с целью проверки нормы их высева и выхода посадочного материала с единицы площади.

При закладке посевного отделения сосны обыкновенной использовались семена, разделенные на две группы и обозначенные как нормальные семена, полученные из обычной лесосеменной плантации, и семена с улучшенными качествами – семена из гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной Негорельского УОЛ [2].

Посев семян сосны обыкновенной и лиственницы европейской осуществлялся по 4-строчной схеме с одинаковой нормой высева 51 кг/га (рис. 3).

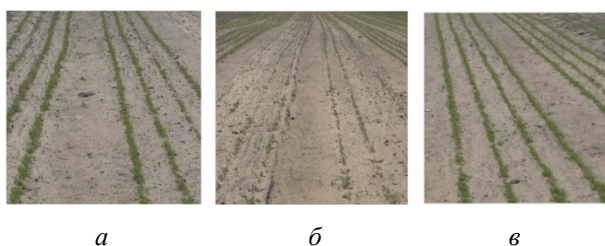


Рис. 3. Посевные отделения в июне:  
а – сосны (нормальные); б – лиственницы;  
в – сосны (улучшенные семена)

По результатам обследования (28 июня) установлено, что визуально сосна с улучшенными семенами дает более дружные всходы (выборочное обследование показало, что максимальное количество всходов достигает 142 шт./м пог. строки) по сравнению с посевами нормальными семенами (113 шт./м пог.). Высота стволика существенно не отличается и составляет 3–5 см.

Представленные на рис. 3, б схемы размещения посевных лент лиственницы европейской показывают, что ее посева в июне еще не имеют явно выраженных всходов.

Наблюдения в июле, спустя месяц, показали, что сеянцы, полученные посевом нормальными семенами, достигают в высоту 4–5 см (максимальное количество всходов – 120 шт./м пог.), а с улучшенными семенами имеют высоту 5,5 см, количество всходов – 147 шт. на 1 м пог. строки (рис. 4).

По результатам обследования также установлено, что при использовании сошника с шириной захвата 8 см формируется строка всходов шириной около 6 см.

Семена, высыпавшиеся из семяпроводов, занимают главным образом срединную часть углубления в почве, образованную сошником. Это объясняется тем, что диаметр внутренней полости семяпровода составляет 5 см и семена, высыпавшиеся из семяпровода на поверхность посевной бороздки, не успевают рассеяться на всю ширину, которая может достигать 7,4 см.

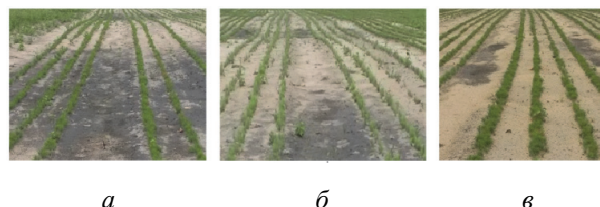


Рис. 4. Посевные отделения в июле:  
а – сосны (нормальные семена);  
б – лиственницы; в – сосны (улучшенные семена)

Также проведена оценка равномерности засева семенами каждой из высевующих секций сеялки (табл. 2).

Движение сеялки по полю осуществляется, как правило, челночным способом, и стыковые междурядья от дорожек колес трактора являются маркером посевных лент. В таком случае строчки на четных проходах (лентах) будут иметь порядок 1-2-3-4, а на нечетных (обратный рабочий ход) 4-3-2-1. Учитывая это обстоятельство, все данные табл. 2 сгруппированы соответствующим образом.

Таблица 2

Результаты обследования количества сеянцев в строчках посевного отделения сосны обыкновенной (норма высева 51 кг/га)

Номер строчки	Качество сеянцев, шт./м пог.	
	нормальные	улучшенные
1-я строчка	77	87
2-я строчка	83	73
3-я строчка	87	77
4-я строчка	86	95
Среднее значение	83	83,2

Для проверки равномерности высева семян сеялкой по каждой из 4-х строк приведены усредненные данные обсчета количества сеянцев, осуществленного в конце вегетационного периода в соответствии с методикой инвентаризации посадочного материала методом диагональных ходов. Осуществлена выборка по лентам на площади 1292 м<sup>2</sup>.

Приведенные данные показывают, что каждая высевая секция сеялки Egedal при посеве обеспечивает достаточно равномерный высеv семян.

При этом среднее значение количества сеянцев, полученных из семян нормального качества и из улучшенных на обследованной площади, имеют практически одинаковое значение – по 83 шт.

В посевном отделении ели европейской для исследований использовались семена исходной влажности и семена, обработанные водным раствором фунгицида «Максим».

По сравнению с другими рассмотренными породами появление всходов ели европейской происходило значительно позже и обследование показателя выхода посадочного материала с единицы площади проведено в конце вегетационного периода.

**Заключение.** В результате установлено, что на обследуемых лентах сеянцев обычного качества находится от 65 до 109 растений, а среднее (табл. 2) количество сеянцев, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> посевной ленты, составляет 332 шт./м<sup>2</sup>, или 171,6 тыс. шт. на засеянной площади размером 517 м<sup>2</sup>.

Аналогично для сеянцев улучшенного качества получены следующие результаты: количество в строке – от 30 до 122; количество сеянцев, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> посевной ленты, – 333 шт./м<sup>2</sup>, или 258 тыс. шт. с участка посевного отделения на площади 775,2 м<sup>2</sup>.

С площади почти 0,13 га прогнозируемый выход посадочного материала составит 429 тыс. шт. сеянцев сосны, или 3,3 млн. шт./га при норме посева 51 кг/га.

Прогнозный выход сеянцев лиственницы европейской составит 208 шт. с 1 м пог., или 53,7 тыс. шт. с участка (2 млн. 80 тыс. шт./га).

Каждая высевая секция сеялки Egedal при 4-строчном посеве обеспечивает требуемый равномерный высеv семян.

Для данного качества семян сосны обыкновенной, а также с учетом показателей по среднему выходу сеянцев в питомниках Республики Беларусь можно рекомендовать на использование норм высева семян сосны улучшенными семенами 38–41 кг/га.

По данным, полученным в посевном отделении ели европейской (27×145 м), с использованием 4-строчной схемы посева на 16 лентах при разных нормах высева следует рекомендовать норму 59–63 кг/га.

Наблюдения показали, что для ели европейской четкой закономерности количественного выхода посадочного материала с единицы площади и нормы высева на первом году выращивания установить невозможно.

Ожидаемый выход с лент в соответствии с нумерацией таков: 1–4-я лента (необработанные семена, 59 кг/га) – 124 шт./м<sup>2</sup>, или 1 млн 240 тыс. шт./га; 5–8-я лента (обработанные семена, 63 кг/га) – 192 шт./м<sup>2</sup>, или 1 млн 920 тыс. шт./га; 9–12-я лента (обработанные семена, 59 кг/га) – 204 шт./м<sup>2</sup>, или 2 млн 40 тыс. шт./га; 13–16-я лента (обработанные семена, 63 кг/га) – 184 шт./м<sup>2</sup>, или 1 млн 840 тыс. шт./га.

Имеет значение предпосевная обработка семян. В посевах с необработанными (сухими) семенами (1–4-я ленты) выход оказался наименьшим – 124 шт./м<sup>2</sup>, или 1 млн 240 тыс. шт./га.

## Литература

1. Асмоловский М. К., Ярошук М. В. Установление оптимальной нормы высева семян сосны и ели обыкновенной при использовании в лесных питомниках универсальной сеялки «Эгедаль-83» // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 257–259.
2. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Оценка качества семенного и посадочного материала сосны обыкновенной, полученного на гибридно-семенной плантации // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1. С. 20–24.

## References

1. Asmolovsky M. K., Yaroshuk M. V. Establishment of the optimal seeding rate of pine and spruce seeds when using the universal seeder "Egedal-83" in forest nurseries. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 257–259 (In Russian).
2. Poplavskaya L. F., Rebko S. V., Tupik P. V. Estimation of quality seed and planting material harvested on hybrid-seeds plantation of *pinus sylvestris*. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 1, pp. 20–24 (In Russian).

### Информация об авторах

**Асмоловский Михаил Корнеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [asmolovsky@belstu.by](mailto:asmolovsky@belstu.by)

**Ярошук Максим Викторович** – начальник питомника филиала БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» (222730, п. Городище, Республика Беларусь). E-mail: [makspitomnik@mail.ru](mailto:makspitomnik@mail.ru)

### Information about the authors

**Asmalouski Mikhail Karneevich** – PhD (Engineering), 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: [asmolovsky@belstu.by](mailto:asmolovsky@belstu.by)

**Jarashuk Maksim Viktoravish** – Nursery Manager. Negorelsky Experimental Forestry (vil. Goro-dishche, 222730, Republic of Belarus). E-mail: [makspitomnik@mail.ru](mailto:makspitomnik@mail.ru)

*Поступила 15.03.2019*

УДК [630\*17:582.475]:630\*165.43:630\*232.325.5:630\*232.411.2

**Е. В. Кондратов, В. И. Торчик**

Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси

**ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ПРИВОЯ НА ПРИЖИВАЕМОСТЬ  
И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОДНОЛЕТНИХ ПРИВИТЫХ  
РАСТЕНИЙ СПОНТАННОЙ СОМАТИЧЕСКОЙ МУТАЦИИ  
*PINUS SYLVESTRIS* L.**

Совершенствование методов для размножения спонтанных соматических мутаций *Pinus sylvestris* L., которые в настоящее время активно используются в селекционных целях для получения новых декоративных форм и которые часто имеют тонкие и короткие однолетние побеги, является актуальной задачей декоративного садоводства. В статье представлены результаты изучения влияния возраста привоя на приживаемость и морфометрические особенности роста однолетних привитых растений спонтанной соматической мутации *Pinus sylvestris* L. Установлено, что лучшие результаты как приживаемости, так и роста наблюдались у растений, полученных с использованием двухлетнего привоя. Использование в качестве привоя 3–4-летних побегов не дало положительного результата. Изучение морфометрических показателей однолетних привитых растений показало, что возраст привоя *Pinus sylvestris* L. не влияет на толщину однолетних осевых и боковых побегов. В обоих вариантах опыта она достигала  $0,4 \pm 0,1$  и  $0,3 \pm 0,1$  см соответственно. Не имел статистически значимых отличий и такой показатель как количество почек на однолетнем осевом побеге. Спящие почки встречались единично и существенно не влияли на систему ветвления. В то же время такие показатели, как количество однолетних побегов, высота и диаметр, у растений, привитых двухлетними черенками, оказались в 2 и более раза выше, чем у растений, привитых однолетними черенками. Не рекомендуется также оставлять на привое озимь при проведении прививки, так как несмотря на то, что к осени формируется шишка, в ней не образуется полнозернистых семян. По результатам исследований рекомендуется в качестве привоя при размножении спонтанных соматических мутаций *Pinus sylvestris* L. использовать двухлетние черенки, что позволяет не только повысить приживаемость прививок, но и сократить срок выращивания посадочного материала.

**Ключевые слова:** спонтанные соматические мутации, «ведьмины метлы», *Pinus sylvestris*, прививочная операция, возраст привоя.

**Ya. V. Kandratav, U. I. Torchyk**

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus

**THE EFFECT OF AGE OF GRAFT ON THE SURVIVAL RATE  
AND MORPHOMETRIC PARAMETERS OF ONE-YEAR GRAFTED PLANTS  
OF THE SPONTANEOUS SOMATIC MUTATION OF  
*PINUS SYLVESTRIS* L.**

The improvement of methods of reproduction of spontaneous somatic mutations *Pinus sylvestris* L., which are widely used for selection aims to get new decorative forms and have thin and short annual shoots is an important task of decorative gardening. The article shows the results of studying the impact of the graft age on the survival rate and morphometric features of the growth of annual grafted plants of spontaneous somatic mutations *Pinus sylvestris* L. It was established that the best results of both survival and growth were in plants obtained using a two-year graft. The use of 3–4 summer cuts as grafts did not give a positive result. The study of the morphometric parameters of annual grafted plants showed that the age of *Pinus sylvestris* L. doesn't affect the thickness of annual axial and lateral shoots. In both variants of the experiment, it reached  $0.4 \pm 0.1$  and  $0.3 \pm 0.1$  cm, respectively. Such an indicator as the number of buds on the one-year axial runaway also showed no statistically significant differences. Sleeping buds were encountered individually and didn't significantly affect the branching system. At the same time, such indicators as the number of annual shoots, the height and diameter of plants grafted with biennial cuttings were 2 or more times higher than those of grafted plants with annual cuttings. It is also not recommended to leave the graft on the winter crops during vaccination, since, despite the fact that by the autumn a lump is formed, no full-grain seeds are formed in it. According to the results of research, it is recommended to use biennial cuttings as a scion for reproduction of spontaneous somatic mutations of *Pinus sylvestris* L., which allows not only to increase the survival rate of vaccinations, but also to reduce the period of cultivation of planting material.

**Key words:** spontaneous somatic mutations, “witch brooms”, *Pinus sylvestris*, grafting operation, graft age.

**Введение.** Самым распространенным в настоящее время способом прививки представителей рода *Pinus* L. является метод Е. П. Проказина – сердцевиной на камбий однолетним привоем, с некоторыми его модификациями, которые заключаются главным образом в обработке срезов физиологически активными веществами и подборе изолирующего материала [1–9, 11–13].

Несмотря на достаточно высокую приживаемость и простоту выполнения прививки, у этого метода есть ряд недостатков. Основными из них являются сложности, возникающие при прививке карликовых садовых форм с тонкими и короткими однолетними побегами, а также большой промежуток времени, необходимый для получения готового посадочного материала.

Альтернативный метод, позволяющий нивелировать эти недостатки, был разработан сотрудниками Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН при размножении декоративных форм лиственных пород: *Quercus robur* ‘Fastigiata’, *Tilia platyphyllos* ‘Laciniata’ и *Acer platanoides* ‘Globosum’. Он заключается в использовании в качестве привоя 2–3-летних ветвей, при этом для улучшения срастания прививочных компонентов места срезов обрабатывались ФАВ. Таким образом, удается сократить период выращивания готового посадочного материала на 2–3 года и упростить проведение прививочной операции для карликовых садовых форм при сохранении высокого процента приживаемости [3].

Почти аналогичный метод использовал Е. П. Проказин для размножения плюсовых деревьев *Pinus sylvestris* L., однако, используя в качестве привоя 2–3-летние ветви, он рекомендовал удалять на них все боковые побеги. Помимо того, по его мнению, следует оставлять 8–12 пучков хвои в верхней части, сам же срез начинать сразу под оставленной хвоей, захватывая лезвием 2–3 пучка, и проводить через сердцевину одно-, двух-, или трехлетнего побега [1].

Недостатком этого метода является удаление с привоя всех побегов, которые впоследствии образовали бы крону, в результате привитое растение приобретает форму, схожую с привитым однолетним привоем, но содержащим более старые фрагменты побега.

В дальнейшем этот метод применяла М. И. Докучаева при прививке кедровых сосен на *Pinus sylvestris* L., используя при этом черенки с 2–5-летней древесиной. В своей работе она отмечала крайне низкую приживаемость таких привоев (57–66%) [9].

По нашему мнению, это связано с усложнением процесса прививочной операции, которое заключается в проведении однородного среза

через весь 1–5-летний прирост на привое и равномерном его совмещении со срезом на подвое.

Ввиду неоднозначности полученных данных различных авторов актуальным, по нашему мнению, является изучение влияния возраста привоя на приживаемость и морфометрические параметры однолетних привитых растений спонтанных соматических мутаций типа «ведьмина метла» (ВМ) *Pinus sylvestris* L., которые в настоящее время активно используются в селекционных целях. Они достаточно часто встречаются на сосне обыкновенной, которая к тому же является основной лесобразующей породой, занимающей 50,4% лесопокрытой площади [10].

Прививка проводилась в условиях отапливаемой теплицы в третьей декаде февраля при круглосуточной температуре 18–22°C, заготовка и хранение черенков осуществлялись согласно общепринятой методике [1]. В качестве привоя использовались 1–4-летние побеги, подвоем служили 4-летние саженцы *Pinus sylvestris* L., выращенные в контейнерах. Статистическая обработка данных проводилась при помощи программы Microsoft Office Excel.

Источником прививочного материала для проведения исследований служила спонтанная соматическая мутация сосны обыкновенной средней плотности, находящаяся в средней части кроны (рис. 1).



Рис. 1. Спонтанная соматическая мутация *Pinus sylvestris* L.

**Основная часть.** В результате изучения влияния возраста привоя на приживаемость спонтанной соматической мутации *Pinus sylvestris* L. (табл. 1) установлено, что приживаемость прививок, выполненных двухлетними привоями, на 15,6% выше по сравнению с однолетними. Следует отметить, что прививка 3–4-летними побегами не дала положительных результатов.

Таблица 1

**Влияние возраста привоя на приживаемость спонтанной соматической мутации *Pinus sylvestris* L.**

Срок прививки	Наименование подвоя	Наименование привоя	Возраст привоя, лет	Приживаемость, %
Февраль	<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Pinus sylvestris</i> L. «ВМ»	1	75,3 ± 5,6
			2	90,9 ± 7,3
			3	0
			4	0

Таблица 2

**Влияние возраста привоя на морфометрические параметры однолетних привитых растений спонтанной соматической мутации *Pinus sylvestris* L.**

Наименование привоя	Возраст привоя, лет	Количество, однолетних побегов, шт.	Длина, см		Длина хвои, см		Высота, см	Диаметр, см
			осевых побегов	боковых побегов	на осевых побегах	на боковых побегах		
<i>Pinus sylvestris</i> L. «ВМ»	1	2,9 ± 0,3	3,1 ± 0,3	2,1 ± 0,3	2,3 ± 0,2	1,9 ± 0,2	6 ± 0,8	4,2 ± 0,3
	2	5,9 ± 0,7*	3,8 ± 0,3*	2,7 ± 0,3*	4,1 ± 0,2*	3,3 ± 0,4*	13,0 ± 1,1*	11,1 ± 0,6*

Примечание.  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее значение,  $m$  – ошибка среднего; \* – различия достоверны при  $P < 0,01$ .

Следовательно, лучшая приживаемость при прививке спонтанных соматических мутаций *Pinus sylvestris* L. отмечена у растений, привитых двулетним привоем.

Изучение морфометрических показателей однолетних привитых растений показало, что возраст привоя *Pinus sylvestris* L. не влияет на толщину однолетних осевых и боковых побегов. В обоих вариантах опыта она достигала  $0,4 \pm 0,1$  и  $0,3 \pm 0,1$  см соответственно. Не имел статистически значимых отличий и такой показатель, как количество почек на однолетнем осевом побеге, хотя у растений, привитых двулетним привоем, он был несколько выше ( $3,4 \pm 0,3$  см), чем у однолетних ( $3,1 \pm 0,3$  см). То же самое отмечено на боковых побегах, где этот показатель достигал  $1,7 \pm 0,3$  см на однолетних и  $2 \pm 0,3$  см на двулетних побегах. Спящие почки встречались единично и существенно не влияли на систему ветвления.

Остальные морфометрические показатели были статистически значимо выше у растений, привитых двулетним привоем (табл. 2), причем некоторые (количество однолетних побегов, высота, диаметр) превышали эти показатели у растений, привитых однолетними черенками, в два и более раза. Вероятно, на морфометрические параметры, как и на приживаемость, повлиял большой запас питательных веществ двулетних привоев. Следует отметить, что при прививке методом Е. П. Проказина, по данным М. И. Докучаевой, использование в качестве привоя побегов с 2–4-летней древесиной существенно не влияет на рост вегетативных органов у однолетних привитых растений [10].

Таким образом, использование в качестве привоев двулетних черенков для прививки спонтанных соматических мутаций *Pinus sylvestris* L. позволяет не только повысить прижи-

ваемость, но и сократить срок выращивания посадочного материала (рис. 2).

Во время заготовки прививочного материала, на однолетних побегах была обнаружена озимь. С учетом того, что семенное потомство спонтанной соматической мутации является ценным материалом для селекции, был заложен опыт с прививкой черенков без удаления ози-ми, из которой в большинстве случаев, по данным Е. П. Проказина [1], развиваются нормальные шишки. Наши наблюдения показали, что, действительно, к осени из ози-ми формировались шишки (рис. 2, в).



Рис. 2. Однолетние растения «ведьминой метлы» *Pinus sylvestris* L., привитые: а – однолетним привоем; б – двулетним привоем; в – двулетним привоем с озимью

Они полностью вызревают и достигают 2,7 см в длину и 1,4 см в ширину (рис. 3), содержат 28 семян, однако полнозернистых семян не оказалось. Следовательно, оставление ози-ми на побегах при прививке спонтанных соматических мутаций *Pinus sylvestris* L. нецелесообразно и при проведении прививки ее следует удалять, что улучшит питание привоя и положительно скажется на приживаемости прививок.





Рис. 3. Шишка, сформировавшаяся из оставленной на привое озиме:  
а – после сбора; б – в раскрывшемся состоянии

Следует отметить, что все представленные растения, привитые как однолетними, так и двулетними побегами, несмотря на некоторые морфометрические различия успевали полностью закончить вегетацию в первый год роста и уходили в зиму полностью одревесневшими.

**Заключение.** Установлено, что лучшие результаты как приживаемости, так и роста показали растения, полученные с использованием двулетнего привоя. Оставлять на привое озимь при проведении прививки нецелесообразно.

### Литература

1. Проказин Е. П. Новый метод прививки хвойных для создания семенных участков // Лесное хозяйство. 1960. № 5. С. 22–28.
2. Федоров А. В., Зорин Д. А. Фундаментальные основы использования прививки в роде *Pinus* в целях интродукции и сохранения биоразнообразия. Ижевск: Шелест, 2017. 84 с.
3. Кристьев М. Т., Бондорина И. А., Протас С. А. Биологические основы прививки древесных растений. М.: КМК, 2014. 164 с.
4. Северова А. И. Многолетний опыт размножения хвойных прививками // Лесоведение. 1975. № 2. С. 21–29.
5. Бондорина И. А. Воздействие физиологически активных веществ на процессы регенерации у древесных растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.01 / Рос. гос. аграрн. ун-т. – МСХА им. К. А. Тимирязева. М., 2012. 41 с.
6. Митрофанов С. В. Влияние способа прививки кедр сибирского на рост и приживаемость привоя // Лесное хозяйство. 2013. № 2. С. 34.
7. Яковлева Л. В. Опыт межвидовой и межродовой прививки хвойных в открытом грунте // Лесоводство. 1967. № 6. С. 29–32.
8. Щерба Ю. Е., Гришилова М. В. Показатели однолетних гомопластических и гетеропластических прививок кедровых сосен // Хвойные бореальной зоны. 2015. № 5–6. С. 248–252.
9. Докучаева М. И. Вегетативное размножение хвойных пород. М.: Лесная пром-ть, 1967. 105 с.
10. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2015 г. / М-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь. Минск, 2015. 97 с.
11. Астраханцева Н. В. Стимуляция срастания привоя с подвоем у деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. 2013. № 9. С. 137–141.
12. Пирага В. М. Методы прививки сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в Латвийской ССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 07.00.00 / Ин-т лесохоз. проблем и химии древесины АН Латвийской ССР. Рига, 1963. 21 с.
13. Прохорова Е. В., Шейкина О. В. Анализ приживаемости прививок древесных пород при разных способах создания клоновых лесосеменных плантаций // Лесное хозяйство. 2009. № 2. С. 241–245.

### References

1. Prokazin Ye. P. New method of grafting conifers to create seed plots. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1960, no. 5, pp. 22–28 (In Russian).
2. Fedorov A. V., Zorin D. A. *Fundamental'nyye osnovy ispol'zovaniya privivki v rode Pinus v tselyakh introduktsii i sokhraneniya bioraznoobraziya* [Fundamentals of the use of vaccination in the genus *Pinus* for the purposes of introduction and conservation of biodiversity]. Izhevsk, Shelest Publ., 2017. 84 p.
3. Krist'ev M. T., Bondorina I. A., Protas S. A. *Biologicheskiye osnovy privivki drevesnykh rasteniy* [Biological basis of grafting woody plants]. Moscow, KMK Publ., 2014. 164 p.
4. Severova A. I. Years of breeding experience conifers vaccinations. *Lesovedeniye* [Forest Studies], 1975, no. 2, pp. 21–29 (In Russian).
5. Bondorina I. A. *Vozdeystviye fiziologicheskii aktivnykh veshchestv na protsessy regeneratsii u drevesnykh rasteniy. Avtoref. dis. doctora biol. nauk* [Impact of physiologically active substances on the regeneration processes in woody plants. Abstract of thesis doctor of biol. sci.]. Moscow, 2012. 41 p.
6. Mitrofanov S. V. The influence of the method of grafting Siberian cedar on the growth and survival of the scion. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2013, no. 2, p. 34 (In Russian).

7. Yakovleva L. V. Experience interspecific and intergeneric inoculation of conifers in open ground. *Lesovodstvo* [Forestry], 1967, no. 6, pp. 29–32 (In Russian).
8. Shcherba Yu. E., Grishilova M. V. Indicators of annual homoplastic and heteroplastic grafts of cedar pines. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zone], 2015, no. 5–6, pp. 248–252 (In Russian).
9. Dokuchaeva M. I. *Vegetativnoye razmnozheniye khvoynykh porod* [Vegetative propagation of conifers]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 105 p.
10. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus po sostoyaniyu na 01.01.2015* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2015]. Minsk, 2015. 97 p.
11. Astrahanceva N. V. Stimulation of graft accretion with rootstock in Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.). *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Technical University], 2013, no. 9, pp. 137–141 (In Russian).
12. Piraga V. M. *Metody privivki sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v Latvyskoy SSR. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Methods of grafting common pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Latvian SSR. Abstract of thesis cand. of agricultural sci.]. Riga, 1963. 21 p.
13. Prohorova E. V., Sheykina O. V. Analysis of the survival of graft trees for different ways to create clone seed plantations. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2009, no. 2, pp. 241–245 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Кондратов Евгений Валерьевич** – младший научный сотрудник. Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 2в, Республика Беларусь). E-mail: kondratov.20144@mail.ru

**Торчик Владимир Иванович** – член-корреспондент, доктор биологических наук, доцент. Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 2в, Республика Беларусь). E-mail: dendro@tut.by

#### Information about the authors

**Kandratau Yauhen Valer'evich** – Junior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kondratov.20144@mail.ru

**Torchyk Uladzimir Ivanovich** – Corresponding Member, DSc (Biology), Associate Professor. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dendro@tut.by

Поступила 15.03.2019

УДК 630\*228.7

**И. В. Соколовский**

Белорусский государственный технологический университет

**КУЛЬТУРЫ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ  
СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

Приведены данные по созданию и росту чистых лесных культур дуба черешчатого (посев желудей, посадка двухлетних сеянцев в подготовленные ямки глубиной 50–60 см по дну плужной борозды, посадка двухлетних сеянцев в дно борозды лесопосадочной машиной МЛУ-1), их таксационные показатели в возрасте девяти лет на дерново-подзолистой суглинистой почве. Почва характеризуется сложным строением почвенного профиля. Дана характеристика гранулометрического состава почвы, анализируются агрохимические свойства. В культурах в первые пять лет ежегодно проводился один уход в июле месяце, при этом удалялась вся травянистая растительность и нежелательная древесная. За девятилетний период высаженные сеянцы дуба черешчатого двухлетнего возраста характеризуются средней высотой более пяти метров и сформировали сомкнутое насаждение при схеме посадки 3×1 м. Отмечается, что в варианте с посадкой двухлетних сеянцев дуба черешчатого в подготовленные ямы прирост по диаметру на высоте груди на 10% выше, чем при посадке лесопосадочной машиной, а по высоте на 5%.

**Ключевые слова:** почва, суглинок, агрохимические свойства, дуб черешчатый, сеянец, уход за культурами, высота, диаметр.

**I. V. Sokolovskiy**

Belarusian State Technological University

**OAK PLANTINGS ON SOD-PODZOLIC LOAMY SOIL**

The data on the creation and growth of pure forest crops of English oak (acorn sowing, planting of two-year seedlings in prepared pits with a depth of 50–60 cm on the bottom of the plow furrow, planting of two-year seedlings in the bottom of the furrow by the forest planting machine of MLU-1) their taxation indicators at the age of nine years on sod-podzolic loamy soil. The soil is characterized by a complex structure of the soil profile. The characteristic of granulometric composition of soil is given, agrochemical properties are analyzed. In the cultures in the first five years was annually held single care in the month of July, when this was removed all herbaceous vegetation and unwanted wood. During the nine-year period, the planted seedlings of English oak of two years of age are characterized by an average height of more than five meters and formed a closed plantation with a planting scheme of 3×1 m. It is noted that in the variant with the planting of two-year seedlings of English oak in the prepared pits, the increase in diameter at the height of the chest is 10% higher, than when planting a planting machine, and in height by 5%.

**Key words:** soil, loam, agrochemical properties, oak petiolate, seedling, crop care, height, diameter.

**Введение.** Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) является требовательной породой к условиям произрастания, что оказывает влияние на выращивание высокопродуктивных дубрав. Высокоплодородные почвы способствуют интенсивному распространению и росту в условиях Беларуси быстрорастущих древесных пород (береза, осина, ольха, ива), а также интенсивному развитию кустарников, полукустарников и живого напочвенного покрова. Широкое распространение получила травянистая растительность, достигающая высоты более метра за вегетационный период, что оказывает отрицательное влияние на рост дуба черешчатого в молодом возрасте [1–9]. На формирование и рост насаждений дуба также оказывает влияние фауна: поедание желудей, повреждение молодых побегов [10]. Несмотря на все

имеющиеся трудности дубравы искусственного происхождения на территории Республики Беларусь занимают площадь около 82 тыс. га, или 28,8% от всей площади дубрав.

**Основная часть.** Объектом исследования являются опытные лесные культуры дуба черешчатого, созданные весной 2009 г. на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза. Участок площадью 0,2 га представляет пологий склон к ручью, который на расстоянии примерно 0,7 км впадает в р. Перетуть. На расстоянии приблизительно 100 м от участка имеются сооружения бобра, что поддерживает постоянный уровень воды в ручье на протяжении года. Участок использовался как сенокос. Подготовка почвы проведена вдоль склона перед посадкой весной 2009 г. плугом ПКЛ-70 на глубину не более 15 см. Длина борозд 50–65 м. Расстояние

между бороздами 3 м. При посадке запланировано три опытных варианта:

– посадка двухлетних сеянцев в подготовленные ямы по дну борозды глубиной 50–60 см размером 20×20 см, что предусматривало хорошую заделку корневой системы сеянцев, их приживаемость и создание благоприятных условий для роста корней (6 рядов, 326 посадочных мест);

– посадка двухлетних сеянцев в дно борозды лесопосадочной машиной МЛУ-1 (3 ряда, 170 посадочных мест);

– посев желудей в ямы аналогично первому варианту (3 ряда, 172 посевных места). В данном варианте весной следующего года пришлось проводить дополнение сеянцами однолетками, так как из желудей было получено 28 дубков. Остальные желуди были повреждены, съедены или не проросли. Шаг посадки и посева 1 м.

Полевыми исследованиями было установлено, что почва на участке дерново-подзолистая слабоподзоленная суглинистая, в верхней части склона по увлажнению контактно-оглеенная, а в нижней временно избыточно увлажняемая, с глубины 60 см подстилаемая суглинком легким моренным (табл. 1).

Морфологические отличия почв заключаются в том, что во временно избыточно увлажняемой почве подстилающая порода имеет признаки оглеения в виде белесых и ржаво-охристых пятен и прожилков, в то время как в контактно-оглеенной почве подстилающая порода характеризуется красно бурым цветом без признаков оглеения [11, 12].

Почва характеризуется сложным строением почвенного профиля, который представлен

водно-ледниковыми и моренными отложениями различного гранулометрического состава.

Подстилающая порода (D) характеризуется плотным сложением, завалунена и выступает в качестве водоупора, по которому осуществляется внутрипочвенный сток вниз по склону. Гранулометрический состав гумусового горизонта почвы верхней и нижней части склона представлен легким суглинком. Во временно избыточно увлажняемой почве происходит аккумуляция частиц физической глины над водоупором, а поэтому переходный и иллювиальный горизонты представлены связной супесью. Почвообразующие породы на 60–80% представлены песчаными фракциями, что определяет водопроницаемость водно-ледниковых отложений, протекание газообмена в верхней части почвенного профиля.

Почва характеризуется сильнокислой реакцией среды (табл. 2), низкой насыщенностью основаниями. Содержание гумуса составляет около 2% при мощности гумусового горизонта 20–23 см. Невысокое содержание гумуса объясняется тем, что во время сенокоса удалялась вся надземная часть растений, а поэтому его накопление происходило преимущественно за счет отмирающих корней и незначительной надземной части травянистой растительности.

Анализируя реакцию среды, содержание оснований и степень насыщенности основаниями, можно отметить, что почва формируется под совместным влиянием дернового и подзолистого процессов почвообразования, однако проточное увлажнение препятствует формированию выраженного подзолистого горизонта.

Таблица 1

## Строение и гранулометрический состав почвы

Горизонт и его протяженность, см	Фракция почвы, мм, и ее содержание, %						Название гранулометрического состава
	3–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	>0,01	
Дерново-подзолистая слабоподзоленная контактно-оглеенная суглинистая, на суглинке легком водно-ледниковом, сменяемом супесью рыхлой, а с глубины 63 см подстилаемом суглинком легким моренным							
A <sub>1</sub> (3–25)	1,2	4,5	12,2	52,2	9,3	20,6	Суглинок легкий
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> (25–44)	3,1	15,1	23,8	42,5	3,9	11,6	Супесь рыхлая
B <sub>2</sub> g (44–63)	4,0	8,9	20,8	48,1	3,8	14,4	Супесь рыхлая
D (63–150)	2,9	6,5	25,0	31,0	11,6	23,0	Суглинок легкий
Дерново-подзолистая слабоподзоленная временно избыточно увлажняемая суглинистая, на суглинке легком водно-ледниковом, сменяемом супесью связной, а с глубины 60 см подстилаемом суглинком легким моренным							
A <sub>1</sub> (3–22)	3,2	5,8	19,1	37,8	9,8	23,3	Суглинок легкий
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> (22–40)	1,9	10,6	22,4	44,5	3,9	17,7	Супесь связная
B <sub>2</sub> g (40–60)	1,4	6,7	25,4	43,4	4,9	18,2	Супесь связная
Dg (60–150)	4,5	3,8	18,3	36,2	11,5	25,7	Суглинок легкий

Таблица 2

## Агрохимические свойства почвы

Горизонт	Протяженность горизонта, см	Гумус, %	рН в КСl	Гидролитическая кислотность	Ca + Mg	Степень насыщенности почв основаниями, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				мг-экв на 100 г почвы			мг на 100 г почвы	
A <sub>1</sub>	3–25	1,83	4,0	4,9	4,1	46	4,8	9,6
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	25–44	0,35	4,1	3,2	3,2	50	5,0	4,6
B <sub>2</sub> g	44–63	–	4,1	2,4	5,8	71	11,0	5,2
D	63–150	–	3,9	3,3	7,9	70	8,0	13,2
A <sub>1</sub>	2–22	2,37	3,9	5,3	4,1	43	4,0	9,1
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> g	22–40	0,27	4,0	2,8	3,6	56	4,5	4,6
B <sub>2</sub> g	40–60	–	4,0	2,7	5,7	67	6,9	9,1
Dg	60–150	–	3,8	4,6	7,9	64	7,5	10,2

Почва участка характеризуется низкой обеспеченностью подвижным фосфором в гумусовом горизонте, а с глубиной обеспеченность возрастает до средней. По содержанию обменного калия почва характеризуется как среднеобеспеченная. Согласно приведенным данным, почва участка характеризуется достаточно высокой водоудерживающей способностью из-за наличия водоупорного горизонта и суглинистого гумусового горизонта. Почва характеризуется проточным увлажнением, а внутрипочвенный сток способствует приносу доступных элементов питания растений с прилегающей водосборной площади на протяжении года, чем и обуславливается интенсивное произрастание травянистой растительности.

В первые пять лет с 2009 по 2014 г. силами студентов в июле месяце проводился уход с использованием мотокосы, а также удалялась или вытаптывалась растительность путем индивидуального обхода каждого ряда.

В дальнейшем уходы не проводились, так как дуб занял главенствующее положение над травянистой растительностью, а сопутствующие древесные породы были удалены при проведении уходов. Следует отметить, что на второй год после создания опытного объекта борозды на 60–80% были покрыты травянистой растительностью, а на третий год – 100%.

Сохранность дуба в исследуемых культурах в возрасте девяти лет составила в среднем по вариантам около 80% (табл. 3).

В варианте с посадкой двухлетних сеянцев в ямы средний диаметр дубков на высоте 1,3 м на 10% выше в сравнении с производственным способом посадки лесопосадочной машиной. По высоте различия по указанным вариантам опыта составили примерно 5%. При средней высоте дуба черешчатого чуть выше 5 м в вариантах с посадкой двухлетних сеянцев, отдельные экземпляры достигли высоты 7 м, а по диаметру 9 см. В третьем варианте, где использовались желуди и однолетние сеянцы, можно отметить, что средний прирост по диаметру и высоте имеет незначительную разницу в сравнении с первыми двумя вариантами.

Распределение по высоте и диаметру показывает, что 26% произрастающих дубков, занимающих господствующее положение в насаждении, имеют высоту 6–7 м (табл. 4). По диаметру на высоте груди 21–22% дубков характеризуются показателем 7–9 см. При указанной схеме посадки это составляет 700–850 таких экземпляров на 1 га. На иллюстрации видна дифференциация дуба по диаметру, а также распространение живого напочвенного покрова.

Таблица 3

## Характеристика культур дуба черешчатого опытного объекта

Вариант опыта	Средние		Количество дубков в варианте	Сохранность, %	Биологический возраст дуба, лет
	D, см	H, м			
Посадка в ямы	5,34	5,24	267	82	11
Посадка МЛЮ-1	4,82	5,05	136	80	11
Посев желудей и дополнение сеянцами	3,61	4,28	132	77	9

Таблица 4

## Распределение дуба по диаметру и высоте, %

Вариант опыта	Диаметр, см							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Посадка в ямы	3,4	12,0	18,4	21,8	22,0	12,9	6,1	3,4
Посадка МЛЮ-1	5,3	7,4	18,9	24,2	22,1	12,6	7,4	2,1

Окончание табл. 4

Вариант опыта	Высота, м							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Посадка в ямы	2,4	4,1	32,0	35,4	19,7	6,1	–	–
Посадка МЛЮ-1	3,2	5,3	34,7	30,5	22,1	4,2	–	–



Культуры дуба черешчатого в возрасте 9 лет  
(биологический возраст дуба 11 лет)

Борозды, в которых произрастает дуб, практически исчезли, так как в них интенсивно накапливался лесной опад, прежде всего в виде листвы, что способствовало восстановлению гумусового горизонта в борозде и выравниванию микрорельефа.

Наблюдения за интенсивностью роста отдельных экземпляров показали, что текущий годичный прирост по высоте в отдельные годы достигал 90 см. В большинстве случаев годовые молодые побеги в среднем составляли 40–60 см, представленные двумя годовыми приростами.

**Заклучение.** Почва опытного участка характеризуется достаточно высоким естественным плодородием, которое определяется гранулометрическим составом, строением почвенного профиля и проточным увлажнением. Лесные культуры дуба черешчатого на дерново-подзолистой суглинистой контактно-оглеенной и временно избыточно увлажняемой почвах успешно произрастают при одном ежегодном качественном уходе в первые пять лет после посадки или посева. Посадка двухлетних сеянцев дуба черешчатого в подготовленные ямы глубиной 50–60 см характеризуются на 5% большей средней высотой и на 10% большим диаметром в сравнении с посадкой лесопосадочной машиной.

## Литература

1. Голод Д. С., Адерихо В. С. Состояние дубрав Беларуси и проблема их восстановления // Дуб – порода третьего тысячелетия: сб. науч. тр. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1998. С. 66–72.
2. Герасименко М. В., Соколовский И. В. Свойства почвы и продуктивность искусственных насаждений дуба черешчатого // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 147–149.
3. Герасименко М. В., Соколовский И. В. Опыт выращивания искусственных насаждений дуба черешчатого в условиях Западно-Двинского лесорастительного района // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2010. Вып. XVIII. С. 228–231.
4. Кожевников А. М., Решетников В. Ф., Колодий П. В. Дубравы Беларуси: состояние, проблемы и пути улучшения ведения хозяйства в них // Дуб – порода третьего тысячелетия: сб. науч. тр. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1998. С. 40–49.
5. Новосельцев В. Д., Бугаев В. А. Дубравы. М.: Агропромиздат, 1985. 214 с.
6. Решетников В. Ф., Старожишина К. М. Смешанные культуры дуба на буреломно-ветральной вырубке // Лесное и охотничье хозяйство. 2015. № 5. С. 24–27.
7. Соколовский И. В., Беспалый А. А. Лесорастительные группы почв суходольных дубрав Белорусского Полесья // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. трудов Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2015. Вып. 75. С. 484–492.
8. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Праходский А. Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение. Минск: БГТУ, 2007. 312 с.
9. Юркевич И. Д. Дубравы БССР. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 270 с.

10. Федоров Ф. Ф. Повреждения, наносимые дикими копытными животными различным видам древесно-кустарниковой растительности // Вопросы лесного охотоведения и побочных пользований лесом. Пушкино, 1976. С. 119–130.
11. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской, П. П. Рогового, Н. И. Смяна. Минск: Ураджай, 1974. 328 с.
12. Соколовский И. В. Почвоведение. Минск: БГТУ, 2005. 330 с.

### References

1. Golod D. S., Aderiho V. S. The condition of the oak forests of Belarus and the problem of their restoration. *Dub – poroda tret'yego tysyacheletiya: sbornic nauchnykh trudov* [Oak – breed of the third millennium: collection of articles scientific]. Gomel, Institut lesa NAN Belarusi Publ., 1998, pp. 66–72 (In Russian).
2. Gerasimenko M. V., Sokolovskiy I. V. Soil properties and productivity of artificial oak plantations of pedunculate oak. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 147–149 (In Russian).
3. Gerasimenko M. V., Sokolovskiy I. V. The experience of growing artificial oak plantations of pedunculate oak in the conditions of the West Dvinsk forest area. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2010, issue XVIII, pp. 228–231 (In Russian).
4. Kozhevnikov A. M., Reshetnikov V. F., Kolodiy P. V. Dubrava of Belarus: condition, problems and ways to improve the management of their economy. *Dub – poroda tret'yego tysyacheletiya: sbornic nauchnykh trudov* [Oak – breed of the third millennium: collection of articles scientific]. Gomel, Institut lesa NAN Belarusi Publ., 1998, pp. 40–49 (In Russian).
5. Novosel'tsev V. D., Bugaev V. A. *Dubravy* [Oakwoods]. Moscow, Agropromizdat Pybl., 1985. 214 p.
6. Reshetnikov V. F., Starozhishina K. M. Mixed oak cultures on the windbreak-wind logging. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2015, no. 5, pp. 24–27 (In Russian).
7. Sokolovskiy I. V., Bepalyy A. A. Forest-growing groups of soils of dry-growing oak forests of the Belarusian Polesye. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornic nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: collection of scientific papers by the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2015, issue 75, pp. 484–492 (In Russian).
8. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Prahodsky A. N. *Lesnyye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye* [Forest cultures and defensive forest destruction]. Minsk, BGTU Publ., 2007. 312 p.
9. Yurkevich I. D. *Dybravy BSSR* [Oakwoods of the BSSR]. Minsk, Izdatel'stvo AN BSSR Publ., 1960. 270 p.
10. Fedorov F. F. Damage caused by wild ungulates to various species of woody trees and bus hes. *Voprosy lesnogo okhotovedeniya i pobochnykh pol'zovaniy lesom* [Problems of forest hunting and side uses of the forest]. Pushkino, 1976, pp. 119–130 (In Russian).
11. *Pochvy Belorusskoy SSR* [Soils of the Byelorussian SSR]. Minsk, Uradzhay Publ., 1974. 328 p.
12. Sokolovskiy I. V. *Pochvovedeniye* [Century Soil]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 330 p.

### Информация об авторе

**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 author

**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: sivsoc@mail.ru

Поступила 18.03.2019

# ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

---

УДК 728.8.035/.36(476.1)«17/20»

**А. А. Метельский**

Институт истории Национальной академии наук Беларуси

## ПАРКИ ЗАУШЬЯ

В статье на основе архивных материалов показана история формирования и развития паркового ансамбля XVIII – начала XX в., расположенного при дворе Заушье под Несвижем. В XVII – начале XVIII в. двор Заушье выполнял роль обыкновенного фольварка, в котором отсутствовала рекреационная зона. Во второй трети XVIII в. при князе Михале Казимире Радзивилле Рыбоньке тут первоначально закладывается парк по простой схеме шпалерного парка. Однако уже во второй половине XVIII в. Михал Казимир Радзивилл Рыбонька решил перепроектировать парк в классическом барочном стиле. Но этот проект так и не был реализован, что вероятно было связано со смертью князя. В начале XIX в., под влиянием новой моды, парк в Заушье был перепрофилирован в английский стиль, хотя местами сохранялись элементы старого итальянского парка, и в таком виде просуществовал до конца 30-х годов XX в. Парки, как и сама усадьба Заушье, прекратили своё существование в середине XX в., когда усадьба оказалась заброшенной. В настоящее время от усадьбы остались только хозяйственные постройки, мельница и здание часовни, которую католическая церковь собирается реставрировать. Парк и сады были полностью вырублены, на их месте сейчас растёт лес.

**Ключевые слова:** парковая культура, Радзивиллы, итальянский парк, английский парк.

**A. A. Metel'ski**

Institute of History of the National Academy of Sciences of Belarus

## PARKS OF ZAUSH'YE

In article on the basis of archival materials describes the history of formation and development of the Park ensemble of the XVIII – beginning of XX century located at the court Zauch'ye under Nesvizh. In the XVII – beginning of XVIII century courtyard Zauch'ye played the role of ordinary farm, which was absent recreation area. In the second third of the XVIII century prince Michal Kazimier Radziwill, the fish here the original park laid on a simple scheme of tapestry, italian park. However, in the second half of the XVIII century. Michal Kazimir Radziwill Rybonka decided to redesign the park in the classical baroque style. But this project is not implemented, which was probably due to the death of the prince. At the beginning of the XIX century, under the influence of new fashion, the park in Zaush'ye was redesigned in the english style, although in some places preserved elements of the old italian park, and in this form existed until the end of the 30-s of the XX century. Parks, as well as the estate Zaush'ye, ceased to exist in the mid-twentieth century, when the estate was abandoned. Currently, the estate remained only outbuildings, a mill and a chapel, which the Catholic Church is going to restore. The Park and gardens were completely cut down, in their place is now growing forest.

**Key words:** park culture, Radziwill, Italian Park, English Park.

**Введение.** Парковая культура во владениях князей Радзивиллов, расположенных вокруг Несвижа, начала формироваться довольно рано. Кроме парка, находящегося непосредственно возле Несвижского замка и упоминаемого уже в середине XVII в., к этому времени имелись парки в Албе, летней резиденции Радзивиллов под Несвижем, был парк возле Мирского замка, в имении Кореличи. Но наиболее активно процесс формирования парков начался с XVIII в. и

был связан с именем Михала Казимира Радзивилла Рыбоньки (1702–1762).

Князь Михал Казимир Радзивилл Рыбонька, владея более 30 лет Несвижской ординацией, оставил после себя большой след как в истории Несвижа, так и в развитии прилегающих к городу фольварков, некоторые из которых кроме привычных функций сельскохозяйственной единицы стали превращаться в загородные владения, имеющие и рекреационные функции.



**Основная часть.** Одним из таких имений, расположенных недалеко от Несвижа, стал двор Заушье, который впервые появляется на страницах письменных источников в 1587 г. [1, с. 211]. В 1628 г. Заушье упоминается как населённый пункт фольварка Альба, в котором было 48 дымов, корчма и мельница на р. Уша. В 1636 г. в Заушье уже насчитывалось 68 хозяйств [2, л. 112–113; 3, л. 81–88].

Заушье находилось в составе фольварка Альба и в 1650 г. [4, л. 36–47]. Но уже в 1671 г. Заушье выступает в качестве центра самостоятельного фольварка, в состав которого входили деревни Квачи и Крутой Берег.

Став центром фольварка, Заушье первоначально выполняло только функции административно-хозяйственного центра, в его составе отсутствовала какая-либо рекреационная зона. Так, инвентарь 1692 г. отмечает наличие в Заушье только овощного огорода. Подобная ситуация фиксируется и в инвентарях 1725 и 1737 гг. [5, л. 39; 6, л. 58; 7, л. 49].

Однако уже в инвентаре 1758 г. парков и фольварков, прилегающих к Несвижу, во дворе Заушье отмечается наличие «ogroda włoskiego» – итальянского парка [8, л. 41]. Вероятно, парк был заложен после раздела (1735–1740 гг.) отцовского владения между сыновьями Кароля Станислава Радзивилла – Иеронимом Флорианом, которому достались Белая и Слуцк, и Михалом Казимиром Рыбонькой, которому достался Слуцк.

В соответствии с инвентарями 1758 и 1762 гг. парк в усадьбе Заушье был небольшим по размерам, и представлял собой две длинные параллельные грабовые аллеи, начинающиеся от центрального здания. В инвентаре 1762 г. подчёркивается, что шпалеры редкие, так как многие грабы не прижились [9, л. 35]. Поэтому можно предположить, что аллеи были относительно недавно посажены.

Вероятно, между аллеями были организованы цветочные клумбы, но инвентари 1758 и 1762 гг. об этом молчат, отмечая только то, что парк состоял из двух «кватер» – участков. В конце парка была какая-то квадратная территория огороженная зеленой оградой. В той части парка, где росли фруктовые деревья, было 115 виноградных лоз, 30 яблонь, 32 груши и 3 черешни [8, л. 41; 9, л. 34].

По всей видимости, такая простота не устраивала владельца Заушья – Михала Казимира Радзивилла Рыбоньку, и поэтому он решил коренным образом преобразовать парк, о чем свидетельствует план, который хранится в отделе рукописей и редкой книги библиотеки Российской академии наук в Санкт-Петербурге – «Planta generalney rozycy palacu nowo zalo-

zonego z ogrodem, dziedzińcem, ofycynami, przysadami w Zauszy» (рис. 1) [11, л. 3].

План не датирован, неизвестен и его автор. Однако у Михала Казимира Рыбоньки в Несвиже в 30-х годах XVIII ст. был садовником Иоганн Кнакфус, который проектировал план Альбы, но потом сбежал в Ольку и не прислал проект парка, из-за чего княжеский архитектор Казимир Жданович не мог приступить к работам, хотя все остальное уже было подготовлено. Кроме И. Кнакфуса у Михала Казимира Радзивилла Рыбоньки в Альбе трудились садовники Захарий Карчевский и Ян Маркевич, а над ними стоял «старший» Даниель Почда [12, с. 36]. Поэтому кто-то из них мог быть проектантом парка в Заушье.

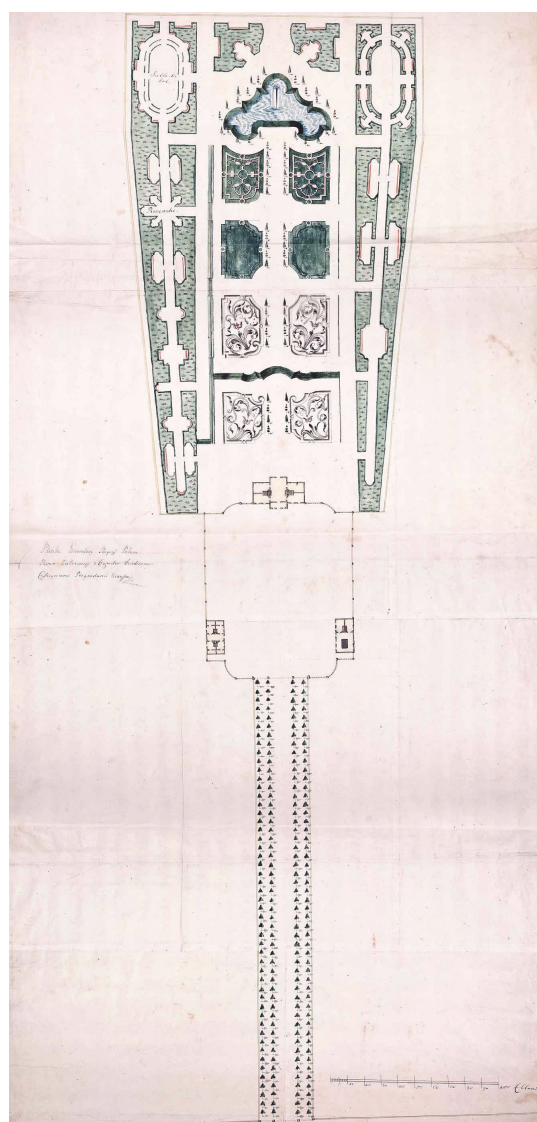


Рис. 1. Проектный план парка в Заушье

Судя по плану, на котором предстает перед нами барочный парк, создание проекта относится ко времени владения Несвижем Михалом Казимиром Радзивиллом Рыбонькой, который проводил большие работы по реставрации

Несвижа, Несвижского замка, по перепланировке летней резиденции в Альбе. Нельзя исключить, что тогда же им были запланированы работы по созданию нового паркового ансамбля и в Заушье, что косвенно подтверждается и временем появления первого упоминания итальянского парка в данном дворе. Учитывая, что в инвентарях 1758 и 1762 гг. упоминается еще простой парк, состоящий из двух шпалер, разработку проекта нового парка можно отнести ко времени не ранее 1758 г., когда закончились работы по перестройке резиденции в Альбе [12, с. 44], и не позднее 1762 г. – года смерти М. К. Радзивилла Рыбоньки.

Хотя масштаб на плане не читается, вероятно, он был составлен в локтях (1 локоть в середине XVIII в. равнялся 59,6 см), так как только такая единица длины позволяет соотносить план с реальной ситуацией на местности.

Судя по плану, от деревни Заушье к усадьбе вела широкая аллея длиной около 200 м, обсаженная с обеих сторон четырьмя рядами деревьев. Инвентарь 1758 г. сообщает, что это были орешина, ель и можжевельник [8, л. 41]. Между рядами деревьев были аллеи шириной около 5 м, а ширина проезжей части аллеи составляла около 7 м. Аллея выводила на огороженный двор размером приблизительно 48×63 м, в дальней стороне которого, прямо по оси аллеи, располагался небольшой дворец. Ближе к деревне на плане предполагалось размещение служебных флигелей.

Парк планировалось разбить непосредственно за дворцом. Его основу должна была составить центральная аллея шириной около 10 м, выводящая на пруд, в котором был запроектирован фонтан. По бокам центральной аллеи планировалось размещение 8 клумб прямоугольной формы (шириной до 15 м). Кроме того, по бокам центральной аллеи и вокруг пруда планировалась посадка деревьев или кустов, стриженных в виде пирамидок.

Первые два ряда клумб, судя по рис. 1, планировалось заполнить не только различными цветами, но, вероятно, и различными инертными материалами – вымостками из мелких камней и т. д. Между первым и вторым рядами клумб на плане показана зеленая изгородь, идущая через всю центральную часть парка.

Второй и третий ряд клумб предполагалось отделить друг от друга круглой площадью диаметром около 18 м, третий ряд клумб по периметру прикрыть невысокими боскетами, а их внутреннее пространство заполнить травяным газоном.

Четвёртый ряд клумб, судя по плану, должен был представлять из себя травяной газон с прорисованными на нем узкими завитыми дорожками. За этим четвертым рядом клумб планировалось

разместить пруд профилированной формы с фонтаном, что было характерно для барочных парков.

Закрывать эту композицию должны были две группы высоких боскетных изгородей с карманами для скамеек, организованных за фонтаном. Эта центральная аллея с расположенными вокруг нее клумбами и прудом занимали площадь около 40×180 м. Судя по ориентации построек двора Заушье, парк должен был идти в сторону реки Уша.

С двух сторон от этой центральной зоны парка планировалось расположить широкие кварталы, закрытые боскетами, внутри которых должны были быть организованы аллеи шириной до 3 м, со своеобразными закрытыми карманами, внутри которых стояли бы скамейки для отдыха. Эти кварталы планировалось сделать шириной около 9 м ближе к дворцу, с расширением до 20 м при удалении. Причем расширение кварталов парка планировалось сделать во внешнюю сторону, а с внутренней стороны парка они должны были быть параллельными центральной аллее и цветочным клумбам. Линию боскетных изгородей предполагалось сделать на расстоянии около 10 м от клумб.

Последний квартал парка, расположенный с правой стороны, должен был завершаться овальной площадкой, закрытой боскетами и дополнительно разделённой полосой нешироких круговых боскетов внутри. Левый квартал планировалось завершить закрытой боскетами танцевальной площадкой овальной формы, на которой так и написано – «Salle de bal». Эти площадки имели размеры 30×18 м.

При проектировке парка учитывался и реальный рельеф местности, о чем свидетельствуют ступеньки, запланированные на аллее, расположенной между правой боскетной изгородью и клумбами, размещёнными с левой стороны от центральной аллеи. И сегодня в этом направлении имеется небольшой естественный уклон местности. Весь проект парка должен был занять территорию приблизительно 72–95×180 м, что соответствует площади в 1,5 га.

Этот проектный план парка в Заушье не был реализован, во-первых, потому, что после смерти Михала Казимира Радзивилла Рыбоньки его сын Кароль Станислав Радзивилл Пане Коханку занимался больше политическими делами, чем хозяйственными. А во вторых, в 1769 г. Кароль Станислав Радзивилл подарил Заушье своей сестре Теофилии, которую выдал замуж за Игнатия Моравского. И, наконец, самое главное, с конца XVIII в. начала меняться мода в парковом искусстве.

Тем не менее, получив в 1769 г. Заушье, Теофилия и Игнатий Моравские полностью преобразовали усадьбу и ее парк, что нашло отражение в инвентаре Заушья 1828 г., а также

в инвентаре 1876 г., который ещё фиксирует постройки XVIII в. Причём частично преобразование усадьбы и парка, вероятно, произошло к 1784 г., к приезду короля Станислава Августа Понятовского в Несвиж<sup>1</sup>. По некоторым сведениям, Заушье посещал в 1818 г. и российский император Александр I.

В XIX в. писатель Е Крашевский, описывая по воспоминаниям современников посещение королем Станиславом Августом Понятовским Заушья, отмечал, что парк был организован по правилам того времени. Река Уша протекала через парк, который был разрезан каналами, делящими его на различные зоны. В парке были беседки, разные домики [13, с. 191–192].

Насколько это общее описание соответствует реалиям конца XVIII в. тяжело сказать, так как рассказ Е. Крашевского – это записанные и обработанные воспоминания свидетелей того посещения. Но в целом, это скупое описание больше соответствует инвентарному описанию заушского парка 1828 г. чем барочному парку, хотя первый продолжал существовать.

Инвентарь 1828 г. скупое отмечает наличие в парке двух липовых шпалер, между которыми, вероятно, располагался газон. Эти шпалеры выводили от главного дома усадьбы к летним домикам, расположенным в парке, и являлись частью барочного парка, заложенного в XVIII в. Кроме этих липовых шпалер инвентарь 1828 г. упоминает в парке наличие аллеи, обсаженной крыжовником, но, где она располагалась, из инвентаря непонятно.

Остатки этого барочного парка в виде кварталов газонов еще видны на акварели Г. Гесса 1839 г. [10, с. 113]. Именно на эту акварель опирался А. Т. Федорук, реконструируя парк для XIX в. [10, с. 111]. В целом главная ось парка из двух аллей соответствует плану парка в Заушье, предложенному А. Т. Федоруком, если, конечно, инвентарное описание полностью передает планировку парка, а о том, что часть старопольского (итальянского) парка в Заушье существовала в виде двух классических аллей, которые шли до Уши и между которыми был широкий стриженный газон еще во времена Гартингов (после 1890 г.), упоминает Р. Афтаназис, ссылаясь на информацию, полученную от дочери последнего владельца Заушья [14,

с. 413]. Так что традиция итальянского парка в Заушье сохранялась долго.

Но с конца XVIII в. в моду входит английский парк, который уже не требовал такой детальной планировки и геометрии, как это было в более раннее время [15, с. 24]:

... Вот, наконец, и ты, цветущий Альбион!  
Здесь создан Бэконом садовников закон,  
Затем его и Поп и Мильтон поддержали, –  
И вот уже сады совсем иными стали.  
Они, свободные, без прежних жестких пут,  
Как жители страны, естественно растут,  
Не сковывают их суровые законы,  
Исчезли насыпи, террасы и балконы.  
Кто может сосчитать прекрасные места,  
Где темен старый лес, где зелень трав густа...

Большая часть парка в Заушье, согласно инвентарю 1828 г., соответствует этой новой моде. Основой для парка Заушья 1828 г. были три опорные точки: дворцовый комплекс, река Уша и несколько связанных с ней каналов.

Инвентарь 1828 г. скупое упоминает каналы в парке и переброшенные в разных местах через них как аркадные деревянные, так и каменные мостики. Первые были покрашены в различные цвета.

Вдоль каналов и реки Уша инвентарь отмечает наличие дорожек для прогулок и плетеных скамеек возле и вокруг групп деревьев для того, чтобы можно было в их тени отдохнуть. Причем в парке росли не только деревья, характерные для наших мест – ольха и верба, но были и группы привозных деревьев – пирамидальные и бальзамические тополя. На острове, образованном течением р. Уша и, вероятно, искусственно прокопанном к западу от нее каналом, стояла деревянная беседка, а сам остров размерами около 200×110 м считался составной частью парка. Через р. Уша можно было переправиться на пароме, опиравшемся на челны.

В целом, как отмечается в инвентаре 1828 г., парк был выполнен в английском стиле [16, л. 28–31 об.], что подчеркивает следование владельцев Заушья современным влияниям в парковом искусстве.

Кроме растений в парке располагался и большой хозяйственный комплекс, который включал в себя как жилые летние домики, так и хозяйственные постройки. Среди последних были специальные оранжереи для выращивания теплолюбивых растений: ананасов, персиков, абрикосов, инжира. Причем оранжереи (3 шт.), которые стояли на каменном фундаменте и были частично кирпичные, а частично деревянные для выращивания персиков и абрикосов, проходят под названием «канал». Вероятно, такое название они получили из-за своих размеров – длинные и узкие, хотя в инвентаре и отмечается, что они имели и окна, и крышу.

<sup>1</sup>Пока статья готовилась в печать, в Национальном историческом архиве Беларуси А. И. Шаланды выявил ранее неизвестный план усадьбы Заушье середины – второй половины XVIII ст., с показанным на нём парком. Судя по беглому знакомству с планом, планировка парка сохраняла свою основу до конца XIX в. План фольварка и парка в Заушье 1876 г. публикуется в статье ниже.

Одновременно в парке был и большой фруктовый сад, в котором росли местные районированные деревья. Инвентарь 1828 г. отмечает наличие в саду 313 яблонь, 150 груш, 147 слив, 67 вишен, некоторые из них, правда, были вымерзшие [16, л. 31 об.].

Конец XVIII – начало XIX в. было временем расцвета парка в Заушье. После смерти Теофилии из рода Радзивиллов (1818 г.) Заушье перешло к княжне Стефании Радзивилл, дочери племянника Пяне Коханку Доминика Радзивилла, которая вышла замуж за князя Л. П. Витгенштейна. Но Витгенштейны уже обращали внимание на Заушье только как на сельскохозяйственный фольварок, который давал доход, они сами здесь не жили, и парк постепенно пришел в упадок.

В 1857 г. Заушье стало владением их сына Петра Витгенштейна, а после его смерти в 1887 г. его сестры Марии Гогенлоэ. Представление о парках Заушья во времена владения ими Витгенштейнов дает инвентарь имения Заушье 1876 г. и прилагаемый к нему план фольварка [17, л. 1–29].

Непосредственно перед домом располагалась круглая клумба, обсаженная вокруг итальянскими тополями, а в центре ее росли розы и другие цветы [14, с. 412] (рис. 2). В это время парк еще сохранял элементы барочного стиля, которые встречаются в виде трех прямоугольных кварталов, идущих от дворца в сторону р. Уша. За ними располагалась лужайка с круговой дорожкой. Возможно, это и есть то, что удалось воплотить из проектного плана середины XVIII в., или следы парка заложенного при Моравских. А круглая площадка плана 1876 г. это запланированная в проекте XVIII в. круглая площадь, которую предполагалось разбить между вторым и третьим рядами клумб. К круглой площадке прилегал ещё один прямоугольный квартал, северной стороной прилегающий к каналу.

В инвентаре отмечается наличие в усадьбе английского парка площадью более 3 десятины (1 десятина = 1,09 га). Вероятно, он располагался вдоль каналов и течения реки Уша, доходя до острова, на котором все еще стояла уже ветхая от старости беседка, которая была и в 1828 г.

Инвентарь отмечает наличие в Заушье английского огорода, под которым, вероятно, следует понимать английскую традицию XIX в. рассматривать овощные культуры как составной элемент паркового искусства и высаживать их вместе с фруктовыми деревьями на отдельных грядках в парке [15, с. 52].

...Церера вступит вновь в законные права.  
Сажайте, чтоб потом собрать плоды могли вы,  
Пусть спеют яблоки, и персики, и сливы:  
Созрев, среди листвы они везде пестрят,

Их яркие цвета преобразуют сад!

Пусть зеленеет лук,  
пусть над щавельной грядкой  
Смородина глядит из-под листа украдкой,  
Сверкая, как рубин; и, соком налитой,  
Пусть сверху абрикос свисает золотой.  
Пусть меж цветочных клумб

в саду произрастает,

Капуста даст кочан; пусть рядом с ней густая  
Моркови с брюквою кудрявится ботва...

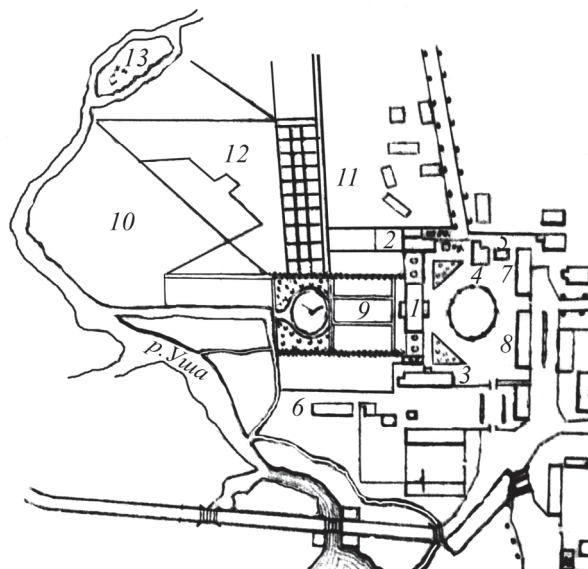


Рис. 2. План фольварка в Заушье 1876 г.:

- 1 – усадебный дом; 2 – флигель; 3 – флигель;
- 4 – часовня; 5 – лямус; 6 – склад;
- 7 – конюшня; 8 – конюшня и каретная;
- 9 – барочный парк; 10 – английский парк;
- 11 – фруктовый сад; 12 – английский огород;
- 13 – остров

Судя по экономическому описанию, этот английский огород занимал площадь более 7 десятин. Где он располагался, инвентарь не отмечает. Но к юго-востоку от дворца, ближе к реке Уша, и с севера ограниченный каналом на плане 1876 г. отмечен ломаной линией какой-то большой участок. Возможно, именно он соответствует месту расположения английского огорода усадьбы.

Инвентарь также отмечает наличие в имении большого фруктового сада, который занимал площадь почти в 2 десятины. Вероятно, именно он отмечен на плане 1876 г. в виде сетки из 30 квадратов, расположенной с юго-восточной стороны от усадебного дома и прилегающий к английскому огороду и парку [17, л. 2, 29]. Во всяком случае, и на планах Заушья первой половины XX в. (1924, 1936 гг.) фруктовый сад показан именно на этом месте.

Кроме того, экономическое описание фольварка Заушье 1876 г. отмечает наличие в имении

овощного огорода площадью более 2 десятин. Однако, где он располагался, определить сейчас невозможно.

В 1890 г. Заушье перешло к роду баронов Гартингов, которые уже задолго до этого арендовали его. При них Заушье вновь стало центром светской жизни. Усадьба и парк опять привлекли внимание хозяев. Вероятно, при них были объединены воедино английские парк и огород с фруктовым садом.

Представление о трансформации парков в Заушье в XX в. дают картографические материалы. На карте Речи Посполитой 1924 г. парк вместе с фруктовым садом в районе Заушья показан вытянутым вдоль р. Уша. Они занимали площадь приблизительно 600×300 м (около 1,8 га). На плане явно читаются 4 прямоугольных квартала парка, разделённых аллеями.

Главная аллея шла от дворца в сторону р. Уша, а от этой аллеи в юго-западном направлении отходили две параллельные аллеи. В общем, эти две аллеи шли параллельно течению р. Уша. Судя по колористической гамме карты, сам парк располагался вдоль реки, а ближе к дворцу располагался фруктовый сад, вероятно, еще с остатками английского огорода (рис. 3).



Рис. 3. План усадьбы Заушье на карте Речи Посполитой 1924 г.

План окрестностей Заушья 1936 г. менее информативен (рис. 4). На нем читаются только два участка, один из которых, ближний к усадьбе,

вероятно, относился к парку, а другой, с более плотным наполнением, расположенный ближе к острову на р. Уша, – к фруктовому саду. Парк с садом, как и ранее, располагался вдоль р. Уша, но, судя по плану фольварка, площадь его несколько сократилась. Хотя это может быть только неточность, появившаяся при составлении карты.



Рис. 4. План усадьбы Заушье на карте Речи Посполитой 1936 г.

**Заключение.** Во второй половине XX в. усадьба и парки в Заушье «канули в Лету». На месте бывшего английского парка сейчас растет дикий лес, а на месте барочного парка и фруктового сада пустыри. Что делать: отсутствие хозяина всегда приводит к разрухе.

От самой усадьбы осталось каменное здание мельницы на р. Уша, полуразрушенная каплица и несколько хозяйственных построек, активно используемых местным сельхозпредприятием. Да еще место, где ранее стояла усадьба, несколько возвышается над остальной территорией. Вероятно, после ее разрушения даже не стали вывозить строительный мусор. Правда в последнее время у католической церкви появилось желание восстановить каменную каплицу XIX в Заушье. Будем надеяться, что очередь дойдет и до восстановления прилегающего когда-то к усадьбе садово-паркового комплекса XVIII–XX вв.

### Литература

1. Вялікі гістарычны атлас Беларусі [Карты]: у 3 т. / Дзярж. кам. па маёмасці Рэсп. Беларусь, РУП «Белкартаграфія»; рэдкал.: В. Л. Насевіч (гал. рэд.) [і інш.]. Мінск: Белкартаграфія, 2009. Т. 1. 244 с.
2. Национальный исторический архив Беларуси (далее НИАБ). Ф. КМФ-5. Оп. 1. Ед. хр. 2666.
3. НИАБ. Ф. КМФ-5. Оп. 2. Ед. хр. 49.
4. НИАБ. Ф. КМФ-5. Оп. 2. Ед. хр. 53.
5. НИАБ. Ф. КМФ-5. Оп. 2. Ед. хр. 72.
6. НИАБ. Ф. КМФ-5. Оп. 1. Ед. хр. 2673/4.
7. НИАБ. Ф. КМФ-5. Оп. 1. Ед. хр. 2674/2.
8. НИАБ. Ф. КМФ-5. Оп. 2. Ед. хр. 87.
9. НИАБ. Ф. КМФ-5. Оп. 2. Ед. хр. 91.
10. Федорук А. Т. Старинные усадьбы Минского края. Минск: Полифакт: Лекция, 2000. 415 с.

11. Библиотека Российской академии наук в Санкт-Петербурге. Собрание рукописных карт. Доп. оп. Ед. хр. 259.
12. Метельский А. А. Забытая Альба: очерки истории загородной резиденции Радзивиллов под Несвижем. Минск: Беларус. навука, 2014. 128 с.
13. Król w Nieświeżu 1784. Obrazek z przeszłości przez I. Kraszewskiego. Warszawa: Gebethner i Wolff, 1887. 213 s.
14. Aftanazy R. Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej: w 10 tomach. Wrocław – Warszawa – Kraków: Ossolenum, 1991–1997. T. 2. Wojewódstwa brzesko-litewskie, nowogródzkie. 1992. 350 s.
15. Жак Делиль. Сады. Ленинград: Наука, 1987. 228 с.
16. Государственный исторический архив Литвы. Ф. 1280. Оп. 1. Ед. хр. 1670.
17. НИАБ. Ф. 694, оп. 2, ед. хр. 2796.

### References

1. *Vyaliki historychny atlas Belarusi [Karty]* [Great historical atlas of Belarus. [Maps]]. Minsk, Belkartagrafiya Publ., 2009. Vol. 1. 244 p.
2. National historical archive of Belarus (NHAB). Fond KMF-5, inventory 1, storage unit 2666.
3. NHAB. Fond KMF-5, inventory 2, storage unit 49.
4. NHAB. Fond KMF-5, inventory 2, storage unit 53.
5. NHAB. Fond KMF-5, inventory 2, storage unit 72.
6. NHAB. Fond KMF-5, inventory 1, storage unit 2673/4.
7. NHAB. Fond KMF-5, inventory 1, storage unit 2674/2.
8. NHAB. Fond KMF-5, inventory 2, storage unit 87.
9. NHAB. Fond KMF-5, inventory 2, storage unit 91.
10. Fedoruk A. T. *Starinnyye usad'by Minskogo kraya* [Ancient estates of Minsk region]. Minsk, Polifakt Publ., Lektsiya Publ., 2000. 415 p.
11. Library of the Russian Academy of Sciences in St. Petersburg. The collection of manuscript maps. Additional inventory. Storage unit 259.
12. Metel'ski A. A. *Zabytaya Al'ba: ocherki istorii zagorodnoy rezidentsii Radzivillov pod Nesvizhem* [Forgotten Alba: essays on the history of the country residence of the Radziwill family of Nesvizh under]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2014. 128 p.
13. Król w Nieświeżu 1784. Obrazek z przeszłości przez I. Kraszewskiego [King in Nesvizh 1784. A picture from the past through the J. I. Kraszewski]. Warszawa, Gebethner i Wolff Publ., 1887. 213 p.
14. Aftanazy R. Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej: w 10 tomach [There is a residence on the former borders of the Polish Republic: in 10 vol.]. Wrocław – Warszawa – Kraków, Ossolenum Publ., 1991–1997. Vol. 2. Brest-Lithuanian, Novogrudok provins, 1992. 350 p.
15. Zhak Delil'. *Sady* [The Gardens]. Leningrad, Nauka Publ., 1987. 228 p.
16. State historical archive of Lithuania. Fond 1280, inventory 1, storage unit 1670.
17. NHAB. Fond 694, inventory 2, storage unit 2796.

### Информация об авторе

**Метельский Андрей Анатольевич** – доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник. Институт истории Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 1, Республика Беларусь). E-mail: andreika.miacelski60@mail.ru

### Information about the author

**Andrey Anatol'yevich Metel'ski** – PhD (History). Leading Researcher. Institute of History of the National Academy of Sciences of Belarus (1, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andreika.miacelski60@mail.ru

Поступила 18.03.2019

УДК 630\*4

А. А. Сазонов<sup>1,2</sup>, В. Б. Звягинцев<sup>1</sup><sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>РУП «Белгослес»

### АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЛЕСОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ОЧАГАХ СОСНОВОЙ КОРНЕВОЙ ГУБКИ

Поражение сосновых насаждений Беларуси корневыми гнилями является застаревшей проблемой лесного хозяйства, удовлетворительного решения которой отрасль не может найти уже на протяжении нескольких десятков лет. В последние годы лесопатологическая ситуация в сосновых лесах обострилась в связи с развитием там же очагов стволовых вредителей. В настоящей работе по данным проведённого экспедиционного лесопатологического обследования в 4 лесхозах Белорусского Полесья оценивается современное состояние проблемы корневых гнилей в сосняках. Вскрываются определённые причины недостаточно эффективной работы лесоводов, которые препятствуют снижению ущерба от заболевания. Сформулированы практические предложения, направленные на оптимизацию системы защитных мероприятий в сосновых лесах, поражённых корневыми гнилями.

**Ключевые слова:** *Heterobasidion annosum*, лесозащитные мероприятия, лесопатологические обследования, санитарные рубки, биопрепарат «Флебиопин».

А. А. Sazonov<sup>1,2</sup>, V. B. Zviagintsev<sup>1</sup><sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>RUE "Belgosles"

### ANALYSIS OF THE FOREST PROTECTIVE ACTIVITIES STRUCTURE IN THE ORIGINS OF PINE ROOT ROT

The defeat of pine plantations in Belarus with root rot is an old forestry problem. The industry has not been able to find a satisfactory solution for several decades. The forest-pathological situation in pine forests has worsened because of the development of stem pest outbreaks in the same places in recent years. The present work describes the current state of the problem of root rot in pine-trees according to the data of the expeditionary forest-pathological investigation in 4 forestry sectors of Belarusian Polesye. The certain reasons for the lack of affective work of foresters have been revealed, which prevent the reduction of damage from the disease. The practical proposals have been formulated that are aimed at optimizing the system of protective measures in pine forests affected by root rot.

**Key words:** *Heterobasidion annosum*, forest protective measures, forest pathological investigation, sanitary felling, biopreparation "Flebiopin".

**Введение.** Сосновая корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) вызывает заболевание корневых систем сосны в виде пёстрой ямчато-волоконистой (ситовой) гнили. В Беларуси на протяжении последних 70 лет это заболевание формирует тардивную эпифитотию в сосновых лесах, т. е. медленно развивается, захватывая на длительный срок всё больше участков леса. Так, если в 1981 г. площадь очагов корневой губки оценивалась в 95 тыс. га [1], то на конец 2017 г. они занимали 123,7 тыс. га [2]. Среднегодовой ущерб от развития в лесах Беларуси сосновой корневой губки за последние 5 лет оценивается в 11 млн долл. США [3]. Несмотря на большой ежегодный размер санитарно-оздоровительных мероприятий в сосновых лесах, изменить имеющуюся тенденцию накопления очагов корневой губки в них пока не удаётся. Проблема хронического поражения сосняков корневой губкой обострилась в связи с их массовым усыханием, развивающемся в

республике с 2016 г. [4]. Среди комплекса факторов, способствовавших росту численности доминирующего стволового вредителя сосны – вершинного короёда (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) Scolytinae, Coleoptera), немалую роль отводят корневой губке, являющейся систематическим поставщиком кормовой базы для стволовых вредителей в виде деревьев разной степени ослабления [1, 5].

Цель работы – описать структуру лесозащитных мероприятий в очагах сосновой корневой губки на примере некоторых лесхозов и установить, в какой мере эти мероприятия могут повлиять на динамику развития эпифитотии корневых гнилей в сосновых лесах.

**Материалы и методы.** Работа осуществлялась на основании материалов экспедиционного лесопатологического обследования, выполненного специалистами РУП «Белгослес» в 2018 г. в сосновых насаждениях Комаринского, Калинковичского, Телеханского и Старобин-

ского лесхозов на общей площади 43,0 тыс. га. Из баз данных лесопатологического обследования выбиралась площадь очагов корневой губки и мероприятия, назначенные для ликвидации последствий развития этого заболевания.

**Результаты и обсуждение.** В обследованных лесхозах высока поражённость сосняков корневой губкой. В табл. 1 приведено сравнение площадей очагов сосновой корневой губки, выявленных по данным лесопатологического мониторинга, проводимого персоналом лесхозов, и экспедиционного лесопатологического обследования, выполненного специалистами РУП «Белгослес». Следует учитывать, что экспедиционное обследование проводилось только на части территории лесхозов, а именно на площади 10,0 тыс. га в Комаринском и по 11,0 тыс. га в остальных учреждениях. Тем не менее, на этой площади специалистами РУП «Белгослес» было выявлено существенно большее количество очагов корневой губки, чем в ходе лесопатологического мониторинга во всех сосновых насаждениях Калинковичского, Комаринского и Старобинского лесхозов. И только в Телеханском лесхозе площадь очагов корневой губки по данным мониторинга оказалась выше, чем по результатам обследования, что вполне логично. Доля сосновых насаждений, поражённых корневой губкой, по данным лесхозов составляет от 0,8% площади сосняков в Старобинском лесхозе до 5,2% в Комаринском. Но на обследованной специалистами РУП «Белгослес» территории эта доля изменяется от 13,7% в Телеханском до 44,3% в Калинковичском лесхозах. Самые большие расхождения выявлены в площади очагов, требующих мер борьбы. Так, суммарно во всех четырёх лесхозах, по данным мониторинга, необходимо провести лесозащитные мероприятия в очагах корневой губки на площади 383 га. Но эти мероприятия необходимы на площади 2492 га, т. е. в 6,5 раз большей. Причём недоучёт площадей, требующих мер борьбы, выявлен во всех обследованных лесхозах. Очевидно, что если бы экспедиционным обследованием была

охвачена вся площадь сосновых насаждений в рассматриваемых лесхозах, разница в данных была бы ещё больше.

В ходе проведения экспедиционного обследования в очагах болезни был назначен комплекс санитарно-оздоровительных мероприятий (СОМ), включающий сплошные санитарные рубки (ССР), выборочные санитарные рубки (ВСР), уборку захламленности (УЗ) и рубки ухода (РУ) в соответствии с действующими санитарными правилами и правилами рубок в лесах Республики Беларусь (табл. 2) [6, 7]. Обычно СОМ охватывают 26,8–34,0% площади выявленных очагов корневой губки, и лишь в отдельных случаях площадь СОМ достигает 61,6% (Телеханский лесхоз). Это означает, что в рамках существующей лесопатологической ситуации и имеющихся лесоводственных нормативов СОМ охватывается только  $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{3}$  площади очагов корневой губки, и только в отдельных лесхозах доля СОМ может достигать  $\frac{2}{3}$  площади имеющихся очагов.

Наиболее радикальной мерой борьбы с корневой губкой является проведение ССР на участках усыхания с последующим их восстановлением естественным или искусственным путём лиственных или смешанных (с преобладанием лиственных пород) древостоями. Такой комплекс мероприятий позволяет фактически уменьшить инфекцию корневой губки в почве и обеспечить долговременный положительный защитный эффект. Однако с учётом имеющихся ограничений [8] проводить ССР можно только в погибших или утративших биологическую устойчивость древостоях. Даже с учётом массового усыхания сосновых насаждений с участием стволовых вредителей в обследованных лесхозах доля поражённых корневой губкой древостоев, поступающих в ССР, будет относительно невелика. По нашим данным, она колеблется от 2,7% в Телеханском до 13,3% в наиболее пострадавшем от усыхания Комаринском лесхозе. Таким образом, надеяться на скорое решение проблемы корневой губки в сосновых лесах Полесья в связи с активизацией в них ССР не следует.

Таблица 1

**Сравнение площадей очагов сосновой корневой губки, выявленных по данным лесопатологического мониторинга, проводимого лесхозами, и экспедиционного лесопатологического обследования в 2018 г.**

Лесхоз	Площадь сосновых насаждений в лесхозе, га	Лесопатологический мониторинг (данные лесхоза)			Экспедиционное обследование (данные РУП «Белгослес»)		
		площадь очагов корневой губки, га	доля очагов от площади сосняков лесхоза, %	в том числе требующие мер борьбы, га	площадь очагов корневой губки, га	доля очагов от обследованной площади, %	в том числе требующие мер борьбы, га
Калинковичский	66 527	2 731	4,1	20	3 519	44,3	1 025
Комаринский	23 350	1 219	5,2	271	2 170	35,9	737
Старобинский	35 444	288	0,8	—	819	14,4	220
Телеханский	55 957	1 406	2,5	92	828	13,7	510



Таблица 2

**Распределение назначенных мероприятий в очагах корневой губки по видам согласно результатам лесопатологического обследования 2018 г.**

Лесхоз	Площадь очагов, га	Распределение очагов корневой губки, требующих выполнения СОМ, га								Итого, требующие проведения СОМ	
		ССР		ВСР		УЗ		РУ		га	%
		га	%	га	%	га	%	га	%		
Калинковичский	3519,5	248,0	7,0	561,9	16,0	215,6	6,1	–	–	1025,5	29,1
Комаринский	2170,0	288,8	13,3	395,0	18,2	53,8	2,5	–	–	737,6	34,0
Старобинский	819,6	32,8	4,0	142,4	17,4	44,5	5,4	–	–	219,7	26,8
Телеханский	828,6	22,1	2,7	486,0	58,7	–	–	1,9	0,2	510,0	61,6

Таблица 3

**Очаги корневой губки в сосняках, требующие проведения различных мер по контролю заболевания и выявленные при экспедиционном обследовании в 2018 г.**

Лесхоз	Площадь очагов, га	Итого, требующие проведения СОМ		Остающиеся под надзором после проведения СОМ		Очаги, не требующие СОМ и надзора	
		га	%	га	%	га	%
Калинковичский	3519,5	1025,5	29,1	2064,5	58,7	429,5	12,2
Комаринский	2170,0	737,6	34,0	1143,4	52,7	289,0	13,3
Старобинский	819,6	219,7	26,8	568,3	69,3	31,6	3,9
Телеханский	828,6	510,0	61,6	290,0	35,0	28,6	3,4

ВСР также являются широко распространённым мероприятием, применяемым для ликвидации последствий усыхания в очагах заболевания. В обследованных лесхозах ими необходимо охватить от 16,0% в Калинковичском до 18,2% очагов в Комаринском лесхозах. В отдельных случаях (Телеханский лесхоз) они могут охватывать до 58,7% площади очагов. Но в том виде, в котором они сейчас применяются, их защитный эффект очень ограничен: в среднем уже через 2 года после проведения в действующих очагах необходимо повторять выборочные рубки [9]. Причина их низкого защитного эффекта в том, что они не воздействуют на инфекцию в почве и не изменяют в лучшую сторону состав и структуру древостоя, не делают его более устойчивым к заболеванию. Поэтому после проведения ВСР необходим надзор за динамикой развития очагов корневой губки. Снятие их с учёта допускается только после 5 лет наблюдений, но на практике далеко не всегда очаги затухают, и мероприятия в них нужно повторять снова и снова. В качестве защитных мероприятий применяются также уборка захламленности и рубки ухода, но их результативность близка к ВСР. В среднем через 1 год после проведения УЗ в очагах корневой губки состояние древостоя требует проведения очередного санитарно-оздоровительного мероприятия [9].

При проведении лесопатологического обследования в возникающих, действующих и затухающих очагах корневой губки проектируется проведение лесопатологического надзора

(табл. 3). Не нуждаются в надзоре только участки, поступающие в ССР, а также хронические очаги, в которых отрицательное воздействие инфекции на древостой приостанавливается. Доля таких участков, к сожалению, не велика. В большинстве случаев проводимые ВСР, уборка захламленности или рубки ухода не способны ликвидировать очаги корневой губки, поэтому их площадь год от года растёт. По нашим данным (табл. 3), в лесопатологическом надзоре после проведения СОМ нуждаются от 35,0 до 69,3% очагов корневой губки. На этой площади очаги продолжают оставаться в активной фазе развития, приводя к постепенному ослаблению и гибели деревьев по периметру куртин усыхания.

**Заключение.** Проведённый анализ указывает на недостаточную результативность существующей системы лесозащитных мероприятий в деле защиты сосновых насаждений от корневых гнилей. Система нуждается в оптимизации по следующим направлениям.

1. *Лесопатологический мониторинг* – в существующем виде допускает недоучёт площадей очагов корневой губки в сосновых лесах, особенно требующих мер борьбы. Лесному хозяйству фактически неизвестен реальный масштаб проблемы в республике, и приведение его в известность должно стать первым шагом на пути ограничения вредоносности корневой губки. Очевидно, что неполный учёт очагов этого заболевания не сводится только к влиянию человеческого фактора. Определённое значение имеют недостаточное применение

информационных технологий в лесозащите и отсутствие в системе лесопатологического мониторинга специализированных баз данных, что делает чрезвычайно трудоёмкой для персонала лесного хозяйства работу по ежегодному учёту и инвентаризации очагов вредных организмов. До настоящего времени слабо действованы дистанционные методы выявления очагов корневой губки, хотя в силу особенностей развития признаки именно этого заболевания хорошо выявляются на аэрокосмических снимках. Развитие этих технических направлений будет способствовать улучшению мониторинга корневой губки. Нельзя будет обойтись и без лучшей подготовки персонала лесничеств и лесхозов в вопросах защиты леса, а также более действенного контроля качества лесопатологического мониторинга со стороны администраций лесохозяйственных учреждений, ГПЛХО и ГУ «Беллесозащита». Для проблемы корневой губки характерен опережённый психологический эффект «привыкания», когда представители лесной охраны уже перестают обращать внимание на постоянно попадающиеся признаки наличия этой патологии в лесу.

2. *Сплошные санитарные рубки* – несмотря на положительный эффект от их проведения и возможность быстрой ликвидации очагов при условии последующего закультивирования участка лиственными породами, нарастить площадь проведения ССР до уровня, когда они будут приводить к существенному снижению площади очагов корневой губки, вряд ли удастся. Этому препятствуют критерии проведения ССР, заложенные в санитарных правилах [6]. По нашему мнению, эти критерии сбалансированы и оптимальны в существующих условиях. Менять их нецелесообразно. ССР будут и далее применяться для ликвидации очагов корневой губки, но они никогда не смогут сыграть решающую роль в устранении этого заболевания.

3. *Выборочные санитарные рубки* – применяются в очагах корневой губки значительно шире и чаще, фактически именно они являются основным защитным приёмом в современных условиях. Проблема заключается в их низкой результативности и, как следствие, необходимости частого повторения. Для исправления ситуации ВСП нужно оптимизировать, а именно:

– вернуться к практике вырубки зоны скрытого заражения вокруг куртин усыхания (рубка изолирующих полос) в виде удаления по периметру куртин в 5-метровой зоне всех деревьев с признаками ослабления (оставлять только деревья без признаков ослабления);

– сохранять естественное возобновление или создавать культуры лиственных пород в «окнах»;

– применять защитную обработку пней биопрепаратами одновременно с проведением рубки.

4. *Рубки ухода* – при их проведении в непожжённых корневой губкой сосновых насаждениях обязательна профилактика распространения споровой инфекции путём одновременной обработки пней биопрепаратом. Это позволит сдерживать рост площадей корневых гнилей. Для уже поражённых заболеванием насаждений при проведении РУ применяются те же защитные приёмы, что и для ВСП.

5. *Использование биометода* – до настоящего времени в Беларуси не было отечественного биопрепарата для профилактики распространения споровой инфекции корневой губки путём обработки свежих пней. Это фактически означало, что проводимые в сосняках рубки способствовали распространению корневой губки. Но в декабре 2018 г. завершены государственные испытания и проведена регистрация отечественного биопрепарата «Флебиопин», который предназначен для обработки свежих пней с целью профилактики распространения заболевания [8]. Широкое использование этого биопрепарата одновременно с проведением выборочных рубок в сосняках позволит значительно повысить защитный эффект рубок и предотвратить поражение корневыми гнилями здоровых древостоев.

6. *Лесной менеджмент* – необходимо применять более радикальный подход при планировании лесохозяйственной деятельности в уже поражённых корневой губкой насаждениях. Этот гриб является естественным компонентом лесных экосистем Беларуси и выполняет в них роль преобразователя чистых одновозрастных (гомогенных) древостоев в смешанные разновозрастные (гетерогенные). Его отрицательная роль проявляется тогда, когда мы стремимся накапливать максимальные древесные запасы к возрасту спелости, т. е. вести хозяйство в одновозрастных лесах. Такие леса являются промышленно ценными, поскольку в них минимизируются издержки на проведение рубки главного пользования. Но они не являются ни биологически устойчивыми, ни экономически оптимальными. Поэтому если поставить перед лесным хозяйством задачу преобразования одновозрастных древостоев в разновозрастные с целью ведения хозяйства на принципах разновозрастного лесоводства с опорой на выборочные рубки главного пользования, тогда очаги корневой губки можно рассматривать как первый этап такого преобразования. В этом случае развитие заболевания, если оно только

не приводит к полной гибели насаждения, не является отрицательным моментом с хозяйственной точки зрения и помогает лесоведам переформировывать простые разновозрастные насаждения в сложные разновозрастные, более устойчивые и экономически целесообразные леса. Поэтому в поражённых корневой губкой древостоях нужно менять цели ведения лесного хозяйства и переводить эти леса в условия разновозрастного лесоводства, не предполагающего сплошных рубок главного пользования в спелых насаждениях.

7. *Лесовосстановление* – при создании сосновых насаждений на вырубках необходимо обеспечить повышение устойчивости нового поколения леса, в первую очередь путём формирования смешанных и по возможности разновозрастных молодняков и лесных культур. При проведении сплошных рубок главного пользования и сплошных санитарных рубок необходимо сохранять максимальное количество жизнеспособных лесных структур, помогающих впоследствии восстановить новое поколение леса (подрост, семенные деревья или

их группы, деревья второго яруса и др.). Лесные культуры сосны необходимо создавать только смешанными.

Существуют и другие методы профилактики распространения инфекции корневых гнилей и повышения устойчивости древостоев (например, селекция), но в данной статье они не рассматриваются. Даже в первом приближении ясно, что проблема корневой губки в сосняках, которая формировалась десятилетиями, не может быть решена быстро, за несколько лет. На наш взгляд, необходимо переходить в её решении к формулированию чётких целей и их достижению, для чего необходимо составить план действий на ближайшие 3–5 лет, утвердить его и ежегодно выполнять. Более решительные действия позволят взять под контроль распространение заболевания и ограничить ущерб от него. Принято считать, что корневая губка – это экологическая проблема, сопутствующая интенсивному лесному хозяйству, следовательно, и решать её нужно, совершенствуя современные лесохозяйственные подходы.

### Литература

1. Душин Н. Г. Стволовые вредители в ослабленных корневой губкой сосновых насаждениях БССР и пути ограничения их численности: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.11. Пос. Самохваловичи, Минская обл., 1981. 211 с.
2. Лесопатологическое и санитарное состояние лесов Республики Беларусь в 2017 году и прогноз развития патологических процессов на 2018 год / ГУ «Беллесозащита». Минск, 2018. 76 с.
3. Волченкова Г. А. Биоэкологические особенности развития фитопатогенного базидиомицета *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. и обоснование контроля пестрой ситовой гнили корней сосны: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.07. Пос. Самохваловичи, Минская обл., 2017. 25 с.
4. Звягинцев В. Б., Сазонов А. А., Рысс А. Ю. Массовое усыхание сосновых лесов в Беларуси // Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту: матеріали III Міжнародн. наук.-практ. конф.; Біла Церква, 25–26 мая 2017 г. / Белоцерк. нац. аграр. ун-т. Біла Церква, 2017. С. 56–57.
5. Сазонов А. А., Звягинцев В. Б. Биологический пожар в сосновых лесах // Лесное и охотничье хоз-во. 2016. № 6. С. 9–13.
6. Об утверждении Санитарных правил в лесах Республики Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016, № 79 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2016. 8/31603.
7. Об утверждении Правил рубок леса в Республике Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016, № 68 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2018. 8/33355.
8. Звягинцев В. Б., Волченкова Г. А., Савицкий А. В. Эффективность защиты сосновых насаждений от корневой губки с применением препарата флериопин на основе ксилотрофного гриба *Phlebiopsis gigantea* // Микология и альгология России. XX–XXI век: смена парадигм: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, Москва, 17–19 нояб. 2018 г. / Моск. гос. ун-т. Москва, 2018. С. 159–160.
9. Звягинцев В. Б., Волченкова Г. А., Жданович С. А. Лесоводственные и лесозащитные мероприятия в поражённых корневой губкой сосновых насаждениях // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 223–226.

### References

1. Dushin N. G. *Stvolovyye vrediteli v oslablennykh kornevoy gubkoy sosnovykh nasazhdeniyakh BSSR i puti ogranicheniya ikh chislennosti. Dis. kand. s.-kh. nauk* [Stem pests in pine stands of BSSR weakened by root rot and ways to limit their numbers. Cand. Diss.]. Samokhvalovichi, Minsk region, 1981. 211 p.
2. *Lesopatologicheskoye i sanitarnoye sostoyaniye lesov Respubliki Belarus' v 2017 godu i prognoz razvitiya patologicheskikh protsessov na 2018 god* [Forest pathology and sanitary state of forests of Belarus in 2017 and forecast of the development of pathological processes in 2018]. Minsk, 2018. 76 p.

3. Volchenkova G. A. *Bioekologicheskiye osobennosti razvitiya fitopatogenного bazidiomitseta Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. i obosnovaniye kontrolya pestroy sitovoy gnili korney sosny. Avtoref. dis. biol. nauk* [Bioecological features of the phytopathogenic basidiomycetes *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. development and substantiation of the annosum root rot control. Abstract of thesis cand. of biol. sci.]. Samokhvalovich, Minsk region, 2017. 25 p.

4. Zviagintsev V. B., Sazonov A. A., Ryss A. Yu. Mass drying cutting of pine forests in Belarus. *Materialy III Mizhnarodnoy naukovno-praktychnoy konferentsii "Aktual'ni problemy ozelenennaya naseleennykh mest: osvita, nauka, virobnitstvo, mistetstvo formuvannaya landshaftu"* [Materials of III International Scientific and Practical Conference "Actual problems of landscaping of inhabited places: education, science, production, art of landscape formation"]. Belaya Tserkov', 2017, pp. 56–57 (In Russian).

5. Sazonov A. A., Zviagintsev V. B. Biological fire in pine forests. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2016, no. 6, pp. 9–13 (In Russian).

6. On approval of Sanitary forest regulations in the Republic of Belarus: decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, December 19, 2016, no. 79. *Natsional'nyy reestr pravovyykh aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus]. 2016. 8/31584.

7. On approval of Forest cut regulations in the Republic of Belarus: decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, December 19, 2016, no. 68. *Natsional'nyy reestr pravovyykh aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus]. 2016. 8/33355.

8. Zviagintsev V. B., Volchenkova G. A., Savitski A. V. Efficiency of the protection of pine stands from the root rot with the use of the product Phlebiopin based on the xylophilic fungus *Phlebiopsis gigantea*. *Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Mikologiya i al'gologiya Rossii. XX–XXI vek: smena paradigmy"* [Materials of All-Russian Conference with international participation "Mycology and Algology of Russia. XX–XXI century: a paradigm shift"]. Moscow, 2018, pp. 159–160 (In Russian).

9. Zviagintsev V. B., Volchenkova G. A., Zhdanovich S. A. Silvicultural and forest protection measures in pine stands affected by root rot. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 223–226 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Сазонов Александр Александрович** – старший преподаватель кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь); начальник лесопатологической партии 1-й Минской лесоустроительной экспедиции. РУП «Белгослес» (220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 27, Республика Беларусь). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

**Звягинцев Вячеслав Борисович** – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mycolog@tut.by

#### Information about the authors

**Sazonov Aleksandr Aleksandrovich** – Senior Lecturer, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus); Head of I Minsk Forest Inventory Expedition. RUE "Belgosles" (27, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lesopatolog@rambler.ru

**Zviagintsev Viacheslav Borisovich** – PhD (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mycolog@tut.by

Поступила 29.03.2019

УДК 712.4

**О. В. Халикова, Р. Р. Исянюлова**

Башкирский государственный аграрный университет

**ОРГАНИЗАЦИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА И ОЗЕЛЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ  
ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОДА УФА**

В статье приводятся результаты анализа организации благоустройства и озеленения территории Уфы. Описывается работа, которая ведется в городе для совершенствования, эстетического вида столицы Республики и создания условий для комфортного проживания граждан. В связи с этим решаются следующие задачи: организация эффективной системы благоустройства, проведение благоустроительных работ и поддержание существующих территорий города в надлежащем виде. Большое внимание уделяется зонам отдыха населения, на которых устанавливается современное оборудование. За последние годы проделана большая работа по устройству тротуаров. Ежегодно создаются новые проекты по благоустройству и озеленению территорий городского округа. Изучаются направления и методы благоустройства, а также методика озеленения. Во время исследования проанализированы документы за последние несколько лет о деятельности муниципальных органов по благоустройству городского округа и его нормативному обеспечению. В результате дана оценка эффективности использования различных приемов озеленения и благоустройства в Уфе, выявлены проблемы, определены перспективы дальнейшей работы, рекомендованы растения для озеленения города.

**Ключевые слова:** озеленение территории, благоустройство территории, нормативное обеспечение, проблемы благоустройства, перспективы озеленения, экологические особенности, растения для озеленения Уфы.

**O. V. Khalikova, R. R. Isyanyulova**

Bashkir State Agrarian University

**ORGANIZATION OF IMPROVEMENT AND PLANTING OF THE TERRITORY  
DISTRICT OF UFA OF THE CITY**

The landscaping should be understood a set of engineering training and security, landscaping, lighting, paving, as well as the creation of small architectural forms and objects of monumental art. The main goals of improvement in the city of Ufa are: improving the system of improvement, the aesthetic appearance of the city and the Republic, creating conditions for comfortable living of citizens. To this end, the following tasks have been set: the organization of an effective system of improvement, the performance of improvement works and the maintenance of the existing territories of the city. In recent years, a great deal of work has been done in the field of city improvement, incl. pavement device. Much attention is paid to recreation areas of the population; modern equipment is used for these purposes. Every year in Ufa, new projects are being created for the improvement and greening of the territories of the urban district.

The aim of the research an analysis was conducted of the organization of improvement and landscaping of the city of Ufa. Were studied directions and methods of improvement. This paper describes the method of gardening the territory of the urban district. During the study, documents on the activities of municipal bodies for the improvement of the urban district in the last few years were studied, and regulatory support was also studied. The article analyzes the state of the problems and prospects of landscaping and improvement of Ufa. In conclusion, a list of recommended plants for landscaping our city is given, and an assessment is made of the effectiveness of using various methods of landscaping and improvement in the city of Ufa.

**Key words:** landscaping, regulatory support, improvement problems, greening prospects, environmental features, plants for landscaping.

**Введение.** Современная Уфа является средоточием производственных, обслуживающих социальных и многих других объектов. Это крупный населенный пункт, промышленный, торговый, административный и культурный центр. У города сложные экономические связи и многоэлементная структура. Его территориальное единство достигается объединением всех предприятий, природных

ресурсов, инфраструктуры, организаций в единое целое. Совместное использование всех этих ресурсов и территорий города превращает его в самостоятельное образование [1]. Основной целью градостроительной политики является создание благоприятной среды для жизнедеятельности. Благоустройство – это важный аспект для формирования высоких архитектурно-художественных,

социально-бытовых, санитарно-гигиенических, функционально-планировочных и экологических качеств городских территорий, а также участков жилой застройки [2]. Жилье человека не может быть комфортным, если близлежащая территория не обустроена должным образом. Можно согласиться с мнением, что благоустройство города – это самый эффективный метод создания полноценной жизнедеятельности. Поэтому для достижения комфортного проживания граждан необходимо совершенствовать организацию деятельности по благоустройству и озеленению территории.

**Основная часть. Формы благоустройства.** На территории города есть основные зоны: селитебная (жилая зона), ландшафтно-рекреационная и производственная. Каждая зона предъявляет свои требования по формированию благоприятных условий для всех видов деятельности. Благоустройство не является исключением. Основные задачи – это рациональное взаиморасположение данных функциональных зон и их структурная организация. Зеленые насаждения должны включаться в состав абсолютно всех функциональных зон города, равномерное размещение которых по территории является средством формирования всей структуры города в единое целое.

Под благоустройством понимается определенный комплекс работ, направленный на улучшение экологического и эстетического состояния территории города.

При благоустройстве соответствующих зон решаются следующие вопросы:

- селитебные – создание комфортного проживания жителей;
- ландшафтно-рекреационные – реформирование благоприятных условий для массового непродолжительного отдыха населения города и близлежащих районов;
- производственные – повышение средозащитной роли [3] и включает в себя такие мероприятия, как инженерная подготовка территории и улучшение микроклимата.

Одним из приоритетных вопросов Уфы является снижение антропогенного воздействия.

**Нормативно-правовые документы по благоустройству города.** В большинстве своем функции и методы по благоустройству города «лежат на плечах» нашей администрации и входят в их задачи [4]. Основными нормативными документами, которые регулируют деятельность по благоустройству, являются Конституция РФ, Конституция Республики Башкортостан, федеральные законы, указы главы Республики Башкортостан, устав городского округа Уфы, градостроительный кодекс, административные регламенты, различные решения, уставы, програм-

мы, методики, правила, исходно-разрешительные документы администрации городского округа Уфы и пр. [5]

**Перспективы благоустройства и озеленения.** В нынешних границах Уфа является многофункциональным экономическим, научным и культурным центром Республики Башкортостан. Городской округ Уфы насчитывает 7 административных районов, 5 сельских советов и 28 населенных пунктов. Здесь непрерывно ведутся различные мероприятия по развитию благоустройства и озеленения. Благодаря прекрасному географическому расположению и проведенным работам по облагораживанию Уфа остается одним из самых зеленых мегаполисов России [6].

К самым большим и красивым зонам можно отнести лесопарк им. Лесоводов Башкортостана, Ботанический сад, парк им. Якутова, парки культуры и отдыха «Первомайский», им. М. Гафури, парк Победы, а также ПКЮ. Вопросы сохранения всех зеленых рекреационных зон жестко регулируют нормативные документы городского округа. Все зеленые насаждения в Уфе занимают более 30% всей территории (25–30 м<sup>2</sup> на одного человека). Многие крупные зарубежные города уступают этому показателю. Помимо внутригородских насаждений функционирует множество лесопарковых зон, длиной 15–20 км. Город защищен «зеленым поясом» с севера. Горожане активно принимают участие в благоустройстве, озеленении территории, а также в субботниках, внося вклад в улучшение экологической обстановки. Благодаря новомодным стилям в ландшафтном дизайне, связанным с озеленением территорий офисов, магазинов и предприятий, на улицах возле заведений стали появляться различные элементы и ландшафтные композиции.

**Характеристика состояния проблем.** Анализ показал проблемы, которые препятствуют росту комфортной жизнедеятельности граждан. Среди них: низкое качество дорожного покрытия, нехватка проездного транспорта, отсутствие внимания к окружающей среде предпринимателей, неоднородная экологическая ситуация в разных районах города (например, Калининский, Октябрьский и Орджоникидзевский), проблема загрязнения окружающей среды, низкий уровень ресурсосберегающих технологий. Следовательно, экологическая обстановка в Уфе, как и в любом крупном населенном пункте, оставляет желать лучшего. Город очень быстро «растет».

Перспективы развития по благоустройству территории предлагает муниципальное унитарное предприятие «АПБ» города Уфа. В соответствии с различными требованиями, касаю-

щимися реализации проектов для территорий городского округа Уфы, необходима разработка территорий на стадии «Проект планировки». Решается комплекс сложных задач внутригородского развития, например учет перспектив развития транспортной и инженерной системы городского округа дает возможность организации системы скоростных автомобильных магистралей. На основании проектов по планировке территории ведется разработка межевания и подготовка градостроительных планов земельных участков. Как утверждает Главархитектура города, самым значительным на данный момент в градостроительном отношении является планировка юго-западной части территории.

Огромное значение имеет регулирование качества городской среды. Среди экологических вопросов в городе Уфа наиболее важными являются: загрязнение воды, воздуха, накопление твердых отходов, шум и вибрации, а также нарушение природной рекреационной среды из-за порчи поверхности почвы строительством и неравномерного посещения гостей и отдыхающих.

В комплекс первоочередных задач по охране окружающей среды входят мероприятия:

- охрана окружающей среды от последствий обильного потока транспорта и промышленности;

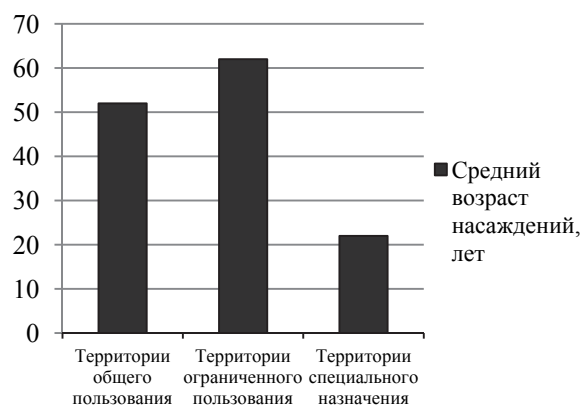
- улучшение окружающей среды для комфортного проживания населения нынешнего и будущего поколений;

- предотвращение экологического ущерба аварий промышленных источников и пр.

**Озеленение в городе Уфа.** Под озеленением территории можно понимать комплекс мероприятий, направленных на гармоничное устройство различных растительных композиций. Для этого высаживаются древесно-кустарниковые растения, создаются различные виды цветников, устраиваются газоны. Более сложную работу выполняют профессионалы.

Основой озеленяемого участка становятся здания, живые изгороди, дорожки. Благодаря растениям на одной и той же территории можно создать неповторимые ландшафтные композиции. Главным критерием для озеленения является правильный подбор растений не только с дизайнерской точки зрения, но и с биологической, экологической. Учитываются почвенные и климатические условия. К примеру, рядом с елью не будет хорошо себя чувствовать роза, так как ей нужна более щелочная почва, а хвойные окисляют ее.

В Уфе многие насаждения достигли своего естественного старения. Они требуют особого ухода или полной замены новыми насаждениями (рисунок).



Средний возраст насаждений в Уфе

Почти 80% деревьев старше 60 лет. Это приводит к снижению защитной и эстетической функций. Требуется посадка саженцев и, возможно, проведение выборочных рубок на территории города.

Уфа – это один из крупнейших городов, поэтому необходимость в качественном озеленении и благоустройстве территорий существует всегда.

Ежегодно высаживаются сотни новых деревьев. В 2016–2017 гг. в Уфе осуществили посадку деревьев в количестве 29,7 тыс. шт., кустарников – 4,8 тыс. шт., обустроили газоны на площади 8,9 га, цветники – на площади 56,3 тыс. м<sup>2</sup> [7].

В 2018 г. в одном только сквере 50-летия Победы было высажено 600 молодых деревьев. В настоящее время рекомендуется проводить больше экологических акций. Для того чтобы улучшить и поддержать состояние насаждений в условиях города, придать им соответствующий декоративный облик, необходимо проводить своевременные работы по ремонту и содержанию зеленого фонда, начинать использовать крупномерный посадочный материал саженцев древесно-кустарниковых растений.

**Газон** является неотъемлемой частью ландшафта. Каждый тип газона имеет свою красоту и привлекательность. Он бывает разный по составу используемой смеси семян, толщине слоя плодородного грунта, а также способу производства. В Уфе газонные травы, которые применяют для озеленения, различны. Обычно для посева используют более 20 видов злаков. Самыми распространенными являются овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera* L.). Для декоративных газонов хорошо подходит овсяница красная (*F. Rub-ra* L.) в связи с тем, что она наиболее жизнестойкая, хорошо растет как на сол-

нечных местах, так и на затененных. Овсяница красная устойчива к вытаптыванию, не боится заморозков, начинает расти в апреле. Мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) более требователен к увлажнению, чем овсяница красная, у него не сильно густой травостой, он медленнее развивается и среднеустойчив к вытаптыванию. Мятлик обыкновенный (*P. Trivialis* L.) в озеленении хорошо подойдет для затененных участков. Он морозостоек, среднеустойчив к вытаптыванию. Райграс пастбищный (*L. Perenne* L.) хоть и является распространенной злаковой культурой для создания газонов, но он не морозостоек и не долговечен, за зиму сильно изреживается. Полевица волосовидная, или тонкая (*A. tenuis* L.), является ценной газонной травой, ее достоинство – это невысокая требовательность к плодородию.

В практике озеленения используют, как правило, не один вид трав, а травосмесь. Травосмеси хорошо подходят для климатических условий Уфы. Состав травосмеси необходимо подбирать согласно типам почв озеленяемой территории, а также согласно типу газона, т. е. назначению (обыкновенный, партерный, мавританский и т. д.).

**Цветники** позволяют дизайнерам выразить свой творческий потенциал, создавая их в виде клумбы, рабатки, панно, бордюра или миксбордера. В многоцветии главным критерием является продуманная композиция, чтобы цветочные культуры сильно не пестрили, а гармонично смотрелись и сочетались между собой. Правильно спланированный цветник будет до поздней осени радовать глаз яркими красками. Ровные участки можно разнообразить такими «перепадами высот», как альпийские горки или стенки, красиво смотрится рокарий, а однолетники образуют шикарные «ковры». Виды цветников различны, они делятся на 2 большие группы – пейзажные и регулярные. К пейзажным цветникам можно отнести миксбордеры, рокарии, альпинарии и цветочные группы. К регулярным – клумбы, партеры, арабески, бордюры, розарии и модульные цветники, т. е. цветники строгих геометрических форм. Вересковые можно выращивать на затененных участках. В местах отдыха населения красиво будет смотреться рабатка (цветник в виде длинной узкой ленты). Для ее создания отлично подойдут такие растения, как бальзамин садовый (*Impatiens balsamina* L.), бархатцы мелкоцветные (*Tagetes erecta* L.), календула лекарственная (*Calendula officinalis* L.), настурция большая (*Tropaeolum majus* L.), петуния садовая (*Petunia integrifolia* Juss.). Необычно будет смотреться солитер из пионов (*Paeonia* L.), дельфиниума гибридного

(*Delphinium hybridum* L.) или флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.).

**Живая изгородь** из декоративного кустарника берет на себя роль ограждения вместо строительных материалов. Грамотно подобранная живая изгородь не только визуальное разделяет пространство, но и придает более эстетический вид озеленяемому объекту, она выполняет санитарно-гигиенические функции. Красиво и живописно выглядит двухрядная живая изгородь из спиреи иволистной (*Spiraea salicifolia* L.) и барбариса оттавского (*Berberis × ottawensis* C. K. Schneid. ex Rehder). Форма изгороди смягчит неприступность и монотонность забора.

**Декоративные древесно-кустарниковые растения в озеленении Уфы.** Посадочный материал древесно-кустарниковых растений продается в возрасте не менее двух лет, и в большинстве своем в цветущем состоянии. Существует большое количество декоративных растений, которые применяются для озеленения в Уфе, наиболее востребованными являются: барбарис Тунберга (*Berberis thunbergii* DC.), барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.), барбарис оттавский (*Berberis × ottawensis* C. K. Schneid. ex Rehder), гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata* Siebold), гортензия древовидная (*Hydrangea arborescens* L.), гортензия крупнолистная (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.), девичий виноград (пятилисточковый) (*Parthenocissus* Planch.), дерен белый (*Cornus alba* L.), ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.), ива вавилонская (*Salix babylonica* L.), калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.), лапчатка кустарниковая (курильский чай) (*Dasiphora fruticosa* (L.) O. Schwarz), можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun), спирея иволистная (*Spiraea salicifolia* L.), спирея японская (*Spiraea japonica* L.f.) и др.

Особенно важно при посадке древесно-кустарниковых насаждений учитывать отношение их к свету, так как тенелюбивые растения на солнечном месте могут не только потерять декоративность, но и «выгореть». Реализацией семян и посадочного материала древесно-кустарниковых растений для озеленения в Уфе занимаются следующие организации: садовый центр при Ботаническом саде, ООО «Ботанический сад», муниципальное унитарное предприятие «Горзеленхоз», садовый центр ООО «Грин Папа», садово-ландшафтные центры «LAND HAUS» и «Клен», «Ваше Плодородие», компании «Ваш Садовник», «Яблоневый сад в Башкирии», питомник «Чишминский «Новый сад» ЛПХ, садово-ландшафтный центр «Аллея Роз»,



интернет-магазин «Мечта садовода» и садовый центр «Цветник».

К наиболее востребованным многолетним декоративным цветочным культурам для озеленения Уфы относятся: арункус двудомный (*Aruncus dioicus* (Walter) Fernald), гайлардия красивая «Желтое перо» (*Gaillardia pulchella* Foug.), рудбекия блестящая (*Rudbeckia fulgida* L.), гвоздика альпийская (*Dianthus alpinus* L.), герань гималайская (*Geranium himalayense* Klotzsch), ирис сибирский (*Iris sibirica* L.), колокольчик карпатский (*Campanula carpatica* Jacq.), лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), флокс Дугласа (*Phlox douglasii* L.), эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* (L.) Moench), пион ИТО-гибрид (*Itoh Hybrid Group* L., или *Itoh Group* L., или *Itoh hybrids* L., или *Intersectional Hybrids* L., или *I-Hybrids* L.), пион молочнокветковый (*Paeonia lactiflora* Pallas), пион японский (*Paeonia japonica* S. Moore), азалия японская (*Azalea japonica* L.) и др.

Наиболее используемыми однолетними декоративными цветочными культурами для озеленения в Уфе являются: агератум мексиканский (*Ageratum houstonianum* Mill.), алиссум Гмелина (*Alyssum lenense* Adams L.), бальзамин Петерса (*Impatiens petersiana* L.), тагетес отклоненный (*Tagetes patula* L.), бегония клубневая (*B. tuberybrida* L.), вербена лекарственная (*Verbena officinalis* L.), фиалка Виттрока (*Viola wittrockiana* L.), газания жестковатая (*Gazania rigens* (L.) Gaertn.), георгина однолетняя (*Dahlia Bercht. & J. Presl*), сальвия блестящая (*Salvia splendens* L.), цинерария морская (*Jacobaea maritima* (L.) Pelsler & Meijden) и пр.

**Вертикальное озеленение** в Уфе является оригинальным приемом ландшафтного дизайна. Растения для вертикального озеленения подбираются из тех семейств, которые хорошо себя чувствуют на склонах, так как их рост будет проходить в вертикальном положении и создавать образ живой природы. Наиболее подходящим растением для вертикального озеленения является лиана, она может быть как однолетней, так и многолетней. Вертикальным озеленением в городе Уфа занимаются фирмы «Lafasad УФА», «Аллея роз», «Версаль»,

«GreenDeco» и пр. Приемы вертикального озеленения в городе имеют особое значение, они весьма эффективны, так как большинство высаживаемых насаждений гибнут повсеместно из-за отсутствия регулярного полива и недобросовестного отношения граждан к высаживаемым растениям.

**Эффективность использования различных приемов озеленения и благоустройства в Уфе.** Зеленые насаждения в городе имеют спектр возможностей, которые заложены в них природой. Озеленение в городах позволяет ослабить негативные последствия экологических условий, повысить уровень комфортности среды города и решить некоторые задачи дизайна урбанизированной территории Уфы. Все виды озеленения и благоустройства территорий в нашем городе обогащают ландшафт, увеличивают степень его эстетической привлекательности. Такие малые архитектурные формы, как скамейки, мостики, беседки, скульптуры, фонтаны в парках, скверах, создают привлекательный образ, они украшают данные территории общего пользования и города в целом. Гармоничный союз архитектуры, малых архитектурных форм, новых форм растительности и природного ландшафта – это хорошее технологическое решение по озеленению и благоустройству Уфы. Создание новых озелененных территорий общего, специального и ограниченного пользования являются актуальными и весьма эффективными методами благоустройства нашего города.

**Заключение.** Город Уфа – сложен и многогранен во всех аспектах, он очень большой и красивый. Мероприятия по озеленению и благоустройству не должны прекращаться, ведь с темпами роста города должно возрастать количество зеленых насаждений на территории и за его пределами. Необходимо внедрение комплексной многолетней системы непрерывного озеленения и рациональной планировки. Возможность создания научно-информационной базы о существующих зеленых насаждениях стала бы одним из перспективных опытов для грамотного решения вопросов озеленения и благоустройства территории города.

### Литература

1. Правила благоустройства городского округа города Уфа Республики Башкортостан. URL: <https://docplayer.ru> (дата обращения: 26.10.2018).
2. Тажитдинов И. А., Гайнанов Д. А. К вопросу о совершенствовании оценки уровня социально-экономического и территориального развития // Экономика и управление. 2009. № 6. С. 58–64.
3. Николаевская И. А. Благоустройство территорий. М.: Академия, 2006. 272 с.
4. Бирюков Л. Е. Основы планировки и благоустройства населенных мест и промышленных территорий. М.: Высш. шк., 1978. 232 с.
5. Хотунцев Ю. Л. Экология и экологическая безопасность. 2-е изд., перераб. М.: Академия, 2004. 480 с.

6. Велихов Л. А. Основы городского хозяйства. М.: Наука, 1996. 470 с.
7. Денисов В. Н., Половцев И. Н., Евдокимов Т. В. Благоустройство жилых территорий. СПб.: МАНЕБ, 2014. 98 с.

### References

1. *Pravila blagoustroystva gorodskogo okruga goroda Ufa Respubliki Bashkortostan* [Rules of improvement of the urban district of the city of Ufa, Republic of Bashkortostan]. Available at: <https://docplayer.ru> (accessed 26.10.2018).
2. Tazhitdinov I. A., Gaynanov D. A. On the issue of improving the assessment of the level of socio-economic and territorial development. *Ekonomika i upravleniye* [Economics and Management], 2009, no. 6, pp. 58–64 (In Russian).
3. Nikolayevskaya I. A. *Blagoustroystvo territoriy* [Landscaping]. Moscow, Akademiya Publ., 2006. 272 p.
4. Biryukov L. E. *Osnovy planirovki i blagoustroystva naseleennykh mest i promyshlennykh territoriy* [Basics of planning and improvement of populated areas and industrial areas]. Moscow, High school Publ., 1978. 232 p.
5. Khotuntsev Ju. L. *Ekologiya i ekologicheskaya bezopasnost'* [Ecology and environmental safety]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 480 p.
6. Velihov L. A. *Osnovy gorodskogo khozyaystva* [Basics of urban economy]. Moscow, Nauka Publ., 1996. 470 p.
7. Denisov V. N., Polovtsev I. N., Evdokimov T. V. *Blagoustroystvo zhilykh territoriy* [Improvement of residential areas]. St. Petersburg, MANEB Publ., 2014. 98 p.

### Информация об авторах

**Халикова Ольга Валерьевна** – аспирант кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна. Башкирский государственный аграрный университет (450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, Российская Федерация). E-mail: kaletina45@mail.ru, khalikova\_o.v@mail.ru

**Исяньюлова Регина Рафаилевна** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна. Башкирский государственный аграрный университет (450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, Российская Федерация). E-mail: aspirant\_bsau@mail.ru

### Information about the authors

**Khalikova Ol'ga Valer'yevna** – PhD student, the Department of Forestry and Landscape Design. Bashkir State Agrarian University (34, 50th Anniversary of October str., 450001, Ufa, Russian Federation). E-mail: kaletina45@mail.ru, khalikova\_o.v@mail.ru

**Isyanulova Regina Rafailevna** – PhD (Biology), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forestry and Landscape Design. Bashkir State Agrarian University (34, 50th Anniversary of October str., 450001, Ufa, Russian Federation). E-mail: aspirant\_bsau@mail.ru

Поступила 26.11.2018

# ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

---

УДК 630\*232.322.4:634.739.1

Д. В. Гордей<sup>1</sup>, О. В. Морозов<sup>2</sup>, Н. В. Терёшкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Белостокский технический университет

## ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ФОРМ ГОЛУБИКИ УЗКОЛИСТНОЙ ПО ВЫСОТЕ И ДИАМЕТРУ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОЕКЦИИ КРОНЫ КУСТОВ, МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЕ, ОКРАСКЕ И ОПУШЕНИЮ ПОБЕГОВ В БЕЛОРУССКОМ ПООЗЕРЬЕ

В условиях выработанного торфяного месторождения верхового типа Белорусского Поозерья выявлена определенная вариабельность значений ряда морфологических показателей надземной вегетативной сферы 26 форм голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.). В десятилетних посадках диаметр горизонтальной проекции кроны кустов интродуцента изменялся в пределах от 86,0 до 140,7 см, высота кустов – от 32,5 до 53,8 см. На основании отношения максимальной длины побегов формирования к высоте куста были выявлены растения с прямостоячей, раскидистой и сильно раскидистой кроной. В зависимости от количества красного пигмента были выделены следующие типы окраски коры побегов *V. angustifolium*: желто-зеленая, зелено-красная, красная и бордово-красная. О возможной отдаленной гибридизации растений изучаемого формового разнообразия голубики узколистной с *V. corymbosum* L. и *V. myrtilloides* Michx. может свидетельствовать выявленная высокорослость куста у одной и наличие слабого опушения побегов у трех форм.

**Ключевые слова:** голубика узколистная, надземная вегетативная сфера, побеги формирования, диаметр горизонтальной проекции кроны куста, высота куста, Белорусское Поозерье.

D. V. Gordey, O. V. Morozov, N. V. Tereshkina

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Bialystok University of Technology

## VARIABILITY OF THE FORMS OF SWEET LOWBUSH BLUEBERRY ON HEIGHT AND DIAMETER OF THE HORIZONTAL PROJECTION OF THE BUSH CROWN, MAXIMUM LENGTH, COLOR AND GLABROUS OF STEMS IN THE BELARUSIAN LAKELAND

In the conditions of the developed peat bog of the Belarusian Lakeland a certain variability of values of a number of morphological indicators of the above-ground sphere of shrub of 26 forms of sweet lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) has been revealed. In ten-year-old plantings the diameter of a horizontal projection of crown of bushes of introduced species changed ranging from 86.0 up to 140.7 cm, height of bushes – from 32.5 to 53.8 cm. On the basis of the relation of the maximum length of formation shoots to height of a bush plants with erect, spreading and very spreading crown were identified. Depending on the amount of a red pigment the following types of *V. angustifolium* bark color were distinguished: yellow-green, green-red, red and maroon-red. About the possible distant hybridization of plants of the studied variety of sweet lowbush blueberry with *V. corymbosum* L. and *V. myrtilloides* Michx. may indicate the revealed high-tallness of a bush of one and presence of hairs on shoots of three forms.

**Key words:** sweet lowbush blueberry, above-ground sphere of the shrub, formation shoots, diameter of a horizontal projection of crown of bushes, height of bushes, Belarusian Lakeland.

**Введение.** Анализ вариабельности морфологических показателей надземной вегетативной сферы вида интродуцента голубики узколистной является важной научной основой работы по введению ягодника в культуру, в том числе и путем его селекционного улучшения.

В свою очередь, для полного использования биологического потенциала кустарничка в хозяйственных целях необходимо не только уста-

новить широту изменчивости показателей надземной вегетативной сферы, но и выделить те признаки, по которым наиболее целесообразно проводить дальнейший отбор.

В естественном ареале голубика узколистная произрастает преимущественно на сильноокислых, каменистых, минеральных почвах и реже по окраинам болот [1]. В условиях Белорусского Поозерья для культивирования ягодника выбра-

ны площади выработанных торфяных месторождений, характеризующиеся ввиду органо-генной природы субстрата иными эдафическими и гидрологическими условиями [2]. Последнее обстоятельство определяет новизну исследований, обусловленную как весьма вероятным изменением габитуса и морфологических параметров надземных органов вида интродуцента в новых условиях произрастания, так и возможностью изменения критериев, предъявляемых в Северной Америке для отбора «лучшего сорта» или «лучшей формы», непосредственно в условиях Белорусского Поозерья.

**Основная часть.** Объектом морфологических исследований надземной вегетативной сферы голубики узколистной являлись растения 26 селекционных форм вида, отобранные в 2002 г. О. В. Морозовым из совокупности сеянцев, выращенных из семян от свободного опыления лучших канадских клонов К 70-62, К 508, К 510 и МЕ 3. Семенной материал был любезно предоставлен эстонским исследователем Т. В. Палль. Для увеличения объектов наблюдения до 15–26 экземпляров перспективные формы были размножены вегетативно путем черенкования.

Посадка двулетних саженцев была осуществлена весной 2009 г. на одном из чеков выработанного верхового торфяного месторождения «Долбенишки» (Шарковщинский район Витебской области) по схеме 1,5×1,0 м. Общее количество черенковых саженцев составило 534 шт. Уход за растениями включал ежегодное внесение определенных доз полного минерального удобрения «Растворин» марки А. Весной 2016 г. в посадках была проведена омолаживающая обрезка с полным удалением надземной вегетативной сферы растений заподлицо с поверхностью земли.

Измерение диаметра горизонтальной проекции кроны и высоты кустов, максимальной длины побегов, а также определение окраски и степени опушения побегов изучавшегося формового разнообразия было осуществлено в конце вегетационного сезона осенью (18.10.2018).

Диаметр горизонтальной проекции кроны определяли как среднее арифметическое двух взаимно перпендикулярных замеров в направлениях север – юг, запад – восток. Высоту куста устанавливали в наиболее удаленной от поверхности субстрата точке кроны куста. Максимальную длину побегов формирования определяли по кривой линии от основания вегетативного органа до конца наиболее удаленной ветви. Окраску однолетних побегов формирования и наличие опушения определяли глазомерно.

В результате образования все новых и новых дочерних кустов из подземных корневищ

материнских растений голубики узколистной происходит постепенное распространение кустарничка в горизонтальном направлении по площади посадок. Конечным результатом данного процесса является формирование сплошного покрова ягодника на участке. С хозяйственной точки зрения при прочих равных условиях несомненный интерес представляют формы, способные к более быстрому образованию монокультурной заросли. Во-первых, посадки растений с наследственно обусловленным интенсивным ростом и развитием надземной вегетативной сферы потребуют меньших затрат на их содержание и уход ввиду высокой фитоценотической устойчивости к сорным растениям, болезням и вредителям. Во-вторых, использование форм, характеризующихся более активным увеличением площади проективного покрытия культуры, повысит как доходность молодых плантаций за счет увеличения их ягодной продуктивности, так и рентабельность ягодоводческой деятельности в целом за счет более раннего вступления насаждений в стадию полного промышленного плодоношения. В данном контексте несомненный интерес представляет оценка способности к экспансии растений интродуцента в Белорусском Поозерье.

В десятилетних посадках диаметр горизонтальной проекции кроны кустов 26 форм голубики узколистной изменялся в пределах от 86,0 см у формы 5 до 140,7 см у формы 22 (таблица). В интервале значений рассматриваемого показателя 80,1–90,0 см было сосредоточено 7,7% представителей изучаемого формового разнообразия, 90,1–100,0 см – 15,4%, 100,1–110,0 см – 26,9%, 110,1–120,0 см – 26,9%, 120,1–130,0 см – 11,5%, 130,1–140,0 см – 7,7%, 140,1–150,0 см – 3,8%. У 20 из 26 форм голубики узколистной наблюдалось смыкание крон соседних кустов в ряду с характерным взаимопроникновением побегов в области проекций надземных вегетативных сфер друг друга. В результате 13 форм (2, 4, 9, 10, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24) практически полностью заняли пространство междурядий. Свободными остались только тропинки, активно используемые для перемещения по плантации.

При этом следует отметить, что у формы 24 высокое значение диаметра горизонтальной проекции кроны куста – 117,6 см – было обусловлено исключительно развитием мощных побегов формирования, а не системы дочерних кустов, характерной для *V. angustifolium*. Логичным объяснением атипичности габитуса формы 24 является ее родственная связь с голубикой высокорослой (*V. corymbosum* L.).

Основные морфологические показатели 26 форм голубики узколистной

Форма голубики	Диаметр горизонтальной проекции кроны куста, см		Высота куста, см		Максимальная длина побега формирования, см		Отношение максимальной длины побега формирования к высоте куста	Окраска коры побега	Опушение побега
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$V, \%$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$V, \%$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$V, \%$			
1	106,7 ± 7,4	14,8	41,7 ± 1,2	6,7	47,7 ± 2,1	13,6	1,14	Бордово-красная	-
2	112,8 ± 9,0	17,5	53,5 ± 2,9	7,1	60,3 ± 2,2	14,9	1,13	Красная	-
3	102,7 ± 7,5	19,1	45,0 ± 2,6	6,9	52,8 ± 2,9	19,5	1,17	Желто-зеленая	-
4	132,3 ± 11,3	17,4	35,7 ± 1,8	5,2	47,2 ± 1,9	17,4	1,32	Красная	-
5	86,0 ± 5,3	16,9	32,5 ± 2,1	7,2	36,8 ± 1,4	18,0	1,13	Красная	-
6	98,7 ± 4,4	7,6	33,7 ± 1,8	5,1	37,3 ± 1,3	6,7	1,11	Красная	-
7	103,6 ± 9,8	10,3	44,9 ± 1,5	4,4	58,3 ± 2,6	11,4	1,30	Красная	-
8	89,0 ± 5,2	19,1	43,6 ± 1,3	6,4	50,1 ± 1,5	15,3	1,15	Бордово-красная	-
9	135,8 ± 6,7	11,4	35,3 ± 0,9	3,6	37,5 ± 1,7	16,7	1,06	Желто-зеленая	-
10	115,5 ± 6,9	15,8	42,1 ± 1,3	5,9	46,4 ± 2,1	15,3	1,10	Красная	-
11	101,8 ± 8,7	18,0	46,3 ± 2,9	7,6	50,4 ± 2,3	19,1	1,09	Красная	-
12	123,7 ± 11,8	19,7	53,8 ± 1,8	6,7	68,8 ± 2,8	13,5	1,28	Бордово-красная	-
13	104,8 ± 7,9	11,5	38,5 ± 2,0	7,1	44,1 ± 1,8	11,3	1,15	Красная	+
14	110,4 ± 6,9	18,1	43,1 ± 1,3	5,9	52,3 ± 2,6	12,3	1,21	Бордово-красная	-
15	98,0 ± 7,7	15,4	39,8 ± 0,8	6,2	48,6 ± 2,2	11,8	1,22	Бордово-красная	-
16	113,5 ± 6,9	15,7	39,4 ± 1,1	5,3	49,8 ± 2,3	14,6	1,26	Красная	-
17	123,3 ± 8,6	14,9	47,8 ± 1,7	7,6	51,5 ± 2,8	15,4	1,08	Зелено-красная	-
18	113,6 ± 6,8	15,8	42,0 ± 0,8	3,9	47,7 ± 2,6	16,4	1,14	Красная	-
19	125,1 ± 12,3	18,1	44,5 ± 1,9	6,9	55,2 ± 2,2	12,5	1,24	Зелено-красная	+
20	105,7 ± 13,5	15,7	35,7 ± 0,8	4,8	39,7 ± 1,9	12,5	1,11	Красная	-
21	105,9 ± 8,9	23,0	45,7 ± 1,2	6,3	55,7 ± 2,8	12,6	1,22	Красная	-
22	140,7 ± 15,3	17,8	44,3 ± 0,7	5,4	53,8 ± 2,5	14,3	1,21	Зелено-красная	+
23	118,4 ± 9,3	14,6	44,7 ± 1,4	7,6	48,7 ± 2,0	12,2	1,09	Желто-зеленая	-
24	117,6 ± 15,4	25,1	93,2 ± 4,8	7,7	111,5 ± 3,1	17,5	1,20	Бордово-красная	-
25	97,4 ± 5,5	17,5	33,8 ± 1,1	6,3	39,4 ± 3,6	21,4	1,17	Желто-зеленая	-
26	94,7 ± 8,7	23,8	45,8 ± 2,2	8,7	56,8 ± 2,7	17,4	1,24	Красная	-

Высота куста – важный признак селекционного отбора, во многом прямым и косвенным образом определяющий ценные хозяйственные качества растений. Согласно литературным данным, урожайность высокорослых растений голубики узколистной с длинными побегами формирования выше низкорослых [3]. Кардинально противоположная зависимость наблюдается между высотой кустов и зимостойкостью растений кустарничка. В меньшей степени повреждению отрицательными температурами зимнего периода подвержены низкорослые формы, защиту надземной вегетативной сферы которых обеспечивает надежное укрытие снежным покровом. С целью поиска оптимального значения высоты кустов проанализируем изменчивость данного показателя интродуцента на севере Беларуси.

Высота кустов 25 форм голубики узколистной изменялась в пределах от 32,5 у формы 5 до 53,8 см у формы 12 (таблица). Отдельно следует выделить форму 24, значение величины рассматриваемого показателя которой резко выделяется на общем фоне и составляет 93,2 см. Последний факт еще раз подтверждает проявление в ее фенотипе наследственной информации голубики высокорослой. В интервале значений высоты 30,1–35,0 см было сосредоточено 11,5% растений изучаемого формового разнообразия, 35,1–40,0 см – 23,1%, 40,1–45,0 см – 38,5%, 45,1–50,0 см – 15,4%, 50,1–55,0 см – 7,7% и интервале 90,1–95,0 см – 3,8%.

Согласно данным Л. И. Гладковой, высота голубики узколистной на открытых песчаных и каменистых местоположениях в районе Великих озер, в штатах Мэн, Массачусетс, Нью-Йорк, Пенсильвания, на запад – до Миннесоты и Айовы, а также в Канаде от Ньюфаундленда до Манитобы находится в интервале 5–20 см [4]. В нашем случае высота кустов подавляющего числа форм интродуцента, 16 из 26, была сосредоточена в интервале 35–45 см, что в 1,8–9,0 раз превышает значение соответствующего показателя в естественном ареале кустарничка. Подтверждают факт низкорослости голубики и данные других ученых: 5–37,5 см [5], 7–38 см [6], 9–27 (10–60) см [7]. Об увеличении высоты кустарничка в условиях Белорусского Поозерья свидетельствуют и результаты учета более 500 шт. растений семенного происхождения, среди которых не было выявлено ни одного экземпляра со значением рассматриваемого показателя ниже 15 см. Независимо от причин, обусловивших положительное изменение высоты куста *V. angustifolium* (наследственный фактор, эдафические условия, минеральные удобрения, гибридизация с голубикой высокорослой), необходимо обязательно учитывать дан-

ную адаптацию растения при разработке технологии создания плантаций, а также обосновании агротехнических мероприятий и критериев селекционного отбора на севере Беларуси.

Согласно результатам исследований, значение максимальной длины побегов формирования 25 форм вида изменялось в пределах от 36,8 см у формы 5 до 68,8 см у формы 12 (таблица). Существенно выделяется из общей совокупности наблюдений значение рассматриваемого показателя у формы 24 – 111,5 см. Разница между максимальной длиной побега формирования и высотой куста 26 форм находилась в пределах 2,2–18,3 см и в среднем составляла 7,8 см.

С целью оценки раскидистости кроны кустов формового разнообразия голубики узколистной проанализируем отношение средней максимальной длины побега формирования к высоте куста. У форм 9, 11, 17 и 23 с прямостоячими побегами данное отношение находилось в интервале значений 1,01–1,10, у форм с сильно поникающими побегами и, соответственно, сильно раскидистой кроной (4, 7, 12, 19 и 26) – в интервале 1,21–1,32, у группы форм, занимающей промежуточное положение, – растений с раскидистой кроной – в интервале 1,11–1,20. С хозяйственной точки зрения наибольший интерес представляют растения первой группы с вертикально расположенными и слабоветвленными побегами, которые лучше адаптированы для заготовки ягод ручными гребенками, а также специальными уборочными машинами.

Окраска и степень опушения побегов определяют не только декоративные качества растений, но и зачастую являются признаками их хозяйственно ценных свойств. Так, насыщенно-красная окраска побегов у родственного голубике узколистной вида голубики высокорослой свидетельствует о высокой зимостойкости растений [8]. Волоски на побегах служат для защиты растения от неблагоприятного воздействия факторов внешней среды (повышенных или пониженных температур, солнечной радиации), уменьшают испарение влаги, обеспечивают механическую защиту от насекомых-вредителей [9]. В нашем случае были выделены следующие виды окраски побегов голубики узколистной в порядке увеличения количества красного пигмента: желто-зеленая (рис. 1) – у 15,4% от общего количества представителей формового разнообразия, зелено-красная (рис. 2) – у 11,5%, красная (рис. 3) – у 50,0%, бордово-красная (рис. 4) – у 23,1%.

Согласно литературным данным, побеги голубики узколистной лишены волосков [6]. Наличие слабого опушения у 3 из 26 изучаемых нами форм может быть обусловлено отдален-

ной гибридизацией *V. angustifolium* Ait. с *V. myrtilloides* Michx., для которой данный признак является обязательным [10]. Для последнего вида характерны также кусты высотой от 15 до 60 см с более ветвистой кроной и кислые на вкус ягоды [10]. Проявление какого-либо наследственного признака *V. myrtilloides* у форм 13, 19 и 22, резко выделяющих их на общем фоне, не было выявлено.



Рис. 1. Желто-зеленая окраска коры побега формы 23



Рис. 2. Зелено-красная окраска коры побега формы 7



Рис. 3. Красная окраска коры побега формы 7



Рис. 4. Бордово-красная окраска коры побега формы 16

**Заключение.** Результаты наблюдений в Белорусском Поозерье свидетельствуют о высокой вариабельности 26 форм голубики узколистной по диаметру горизонтальной проекции кроны и высоте кустов, максимальной длине побегов и типу кроны куста, а также окраске коры побегов. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на выявлении корреляций морфологических характеристик с хозяйственно ценными признаками интродукта: урожайностью, зимостойкостью, феноритмикой, устойчивостью к болезням и вредителям.

#### Литература

1. Soper James H., Heimbürger Margaret L. Shrubs of Ontario. Toronto: Life Sciences Misc. Publ., 1982. 495 p.
2. Культивирование голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) в Белорусском Поозерье / О. В. Морозов [и др.]. Минск: БГТУ, 2016. 195 с.
3. Hepler P. H., Yarborough D. E. Natural variability in yield of lowbush blueberries // Hort Science 1991. 26 (3). P. 245–246.
4. Гладкова Л. И. Выращивание голубики и клюквы. М.: ВНИИТЭИСХ, 1974. 63 с.
5. Шумейкер Дж. Ш. Культура ягодных растений и винограда. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 563 с.
6. Chiasson G., Argall J. Growth and Development of the Wild Blueberry. URL: [www.gnb.ca/0171/10/a20e.pdf](http://www.gnb.ca/0171/10/a20e.pdf) (date of access: 23.02.2019).
7. Vander Kloet S. P. The genus *Vaccinium* in North America Publication 1828. Ottawa: Research Branch, 1988. 201 p.

8. Голубика: многообразие видов / Т. В. Курлович [и др.]. Минск: Красико-Принт, 2010. 79 с.
9. Андреева И. И., Родман Л. С. Ботаника. Минск: Колос, 2002. 488 с.
10. Marie-Eve Moreau. Wild Blueberry Production Guide 5. Growth and Development of the Wild Blueberry. URL: <http://perlebleue.ca/images/documents/amenagement/guideanglais/e005.pdf> (date of access: 23.02.2019).

### References

1. Soper James H., Heimbürger Margaret L. Shrubs of Ontario. Toronto: Life Sciences Misc. Publ., 1982. 495 p.
2. 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 Lakeland]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 195 p.
3. Hepler P. H., Yarborough D. E. Natural variability in yield of lowbush blueberries. *Hort Science*, 1991, 26 (3), pp. 245–246.
4. Gladkova L. I. *Vyrashchivaniye golubiki i klyukvy* [Growing blueberries and cranberries]. Moscow, VNIITEISKH Publ., 1974. 63 p.
5. Shumeyker Dzh. Sh. *Kul'tura yagodnykh rasteniy i vinograda* [Culture of berry plants and grapes]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury Publ., 1958. 563 p.
6. Chiasson G., Argall J. Growth and Development of the Wild Blueberry. Available at: [www.gnb.ca/0171/10/a20e.pdf](http://www.gnb.ca/0171/10/a20e.pdf) (accessed 23.02.2019).
7. Vander Kloet S. P. The genus *Vaccinium* in North America Publication 1828. Ottawa, Research Branch, 1988. 201 p.
8. Kurlovich T. V., Pavlovskaya A. G., Pavlovskiy N. B., Pyatnitsa F. S. *Golubika: mnogoobraziye vidov* [Blueberry: species variety]. Minsk, Krasiko-Print Publ., 2010. 79 p.
9. Андреева И. И., Родман Л. С. *Ботаника* [Botany]. Минск, Колос Publ., 2002. 488 p.
10. Marie-Eve Moreau. Wild Blueberry Production Guide 5. Growth and Development of the Wild Blueberry. Available at: <http://perlebleue.ca/images/documents/amenagement/guideanglais/e005.pdf> (accessed 23.02.2019).

### 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:nvtereshkina@gmail.com)

Поступила 25.03.2019



УДК 591.69:[504.5:539.16]:599.742.11(476.2)

**А. В. Гулаков<sup>1</sup>, В. А. Пенькевич<sup>2</sup>, К. Ф. Саевич<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

<sup>2</sup>Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

<sup>3</sup>Белорусский государственный экономический университет

**СТРУКТУРА ПАРАЗИТОЦЕНОЗА И УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ  
РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМЕ ВОЛКА,  
ОБИТАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ**

В работе представлены данные по структуре паразитоценоза и удельной активности радионуклидов в организме волка, обитающего на территории зоны отчуждения.

В результате проведенных исследований у волка нами было выявлено 24 вида гельминтов, причем паразиты обитают во многих органах и тканях организма животных. Следует отметить, что волкам Полесского региона Беларуси, и в частности обитающим на территории радиоактивного загрязнения, свойствен свой комплекс гельминтов.

Основными факторами, которые определяют уровень содержания <sup>137</sup>Cs в мышечной ткани волка, являются плотность загрязнения и распределение радионуклида на территории местообитания. Наиболее высокая удельная активность <sup>137</sup>Cs у животных, добытых на территории зоны отчуждения, наблюдается в мышечной ткани, <sup>90</sup>Sr более всего накапливается в костной ткани волка.

Предлагается сосредоточить внимание на дальнейшем изучении структуры паразитоценозов и процесса накопления радионуклидов в организме хищных животных, обитающих на территории радиоактивного загрязнения с целью как оценки паразитологической ситуации, так и для долговременного радиоэкологического мониторинга.

**Ключевые слова:** структура паразитоценоза, радиоактивное загрязнение, волк, органы и ткани, радионуклиды <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr.

**A. V. Gulakov<sup>1</sup>, V. A. Pen'kevich<sup>2</sup>, K. F. Saevich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Francisk Skorina Gomel State University

<sup>2</sup>Polesye State Radiation-Ecological Reserve

<sup>3</sup>Belarusian State Economic University

**STRUCTURE OF PARASITHOCENOSIS AND SPECIFIC ACTIVITY  
OF RADIONUCLIDES IN THE ORGANISM OF THE WOLF  
INHABITING IN THE TERRITORY OF THE EXCLUSION ZONE**

The paper presents data on the structure of parasitocenosis and the specific activity of radionuclides in the body of a wolf inhabiting of the exclusion zone.

As a result of studies carried out by the wolf, we identified 24 species of helminths, with parasites living in many organs and tissues of the animal body. It should be noted that wolves of the Polesie region of Belarus, and in particular, inhabiting the territory of radioactive contamination, have their own complex of helminths.

The main factors that determine the level of <sup>137</sup>Cs content in the muscular tissue of a wolf are the density of contamination and the distribution of the radionuclide in the territory of habitat. The highest specific activity of <sup>137</sup>Cs in muscle tissue is observed in animals extracted in the exclusion zone, <sup>90</sup>Sr accumulates most in the bone tissue of the wolf.

It is proposed to focus on further study of the structure of parasitocenosis and accumulation of radionuclides in the body of predatory animals inhabiting the territory of radioactive contamination with the aim of both assessing the parasitological situation and for long-term radioecological monitoring.

**Key words:** structure of parasitocenosis, radioactive contamination, wolf, organs and tissues, radionuclides <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr.

**Введение.** Радиоактивное излучение негативно действует на все живые организмы, в том числе и на паразитов, которые оказывают влияние на состояние популяций диких промысловых животных. Биологическое загрязнение окружающей среды гельминтами постоянно рас-

тет и негативно отражается на здоровье человека и животных. Изучение диких и домашних млекопитающих представляет интерес не только для познания экологии данных животных, но и для изучения процесса распространения некоторых гельминтозов человека.

Дикие животные требуют постоянного контроля, поскольку многие их виды без видимых патологических изменений органов и тканей могут являться источником распространения инвазий, представляющих опасность для домашних, сельскохозяйственных животных и человека [1].

Широкое распространение и ущерб, причиняемый гельминтозами, выводят исследования в данном направлении (видовой состав возбудителей, зараженность промежуточных хозяев, разработку способов профилактики и лечения) в число актуальных задач.

Изучение гельминтозов как одного из факторов, влияющего на состояние популяции волка, является одним из важных аспектов в экологии. В Беларуси гельминты волка довольно полно изучались многими исследователями [2–6].

**Материалы и методы.** Материалом для работы послужили гельминты, собранные из различных органов и тканей у изъятых волков в разных биоценозах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (2005–2015 гг.) [4].

Проведены полные гельминтологические вскрытия 29 волков.

Для оценки пораженности животных гельминтами применялись следующие показатели: экстенсивность инвазии (ЭИ) – отношение числа зараженных животных к общему числу обследованных и интенсивность инвазии (ИИ) – количество экземпляров паразитов (яиц, личинок), обнаруженных у обследованного животного.

В основном гельминты определялись в лаборатории заповедника, отдельные сборы – в Витебской академии ветеринарной медицины. При определении материала использовалась методическая и справочная литература по гельминтологии [7–10].

От диких животных производили взятие проб мышечной и костной ткани, отбирались образцы массой 0,1–0,5 кг.

Измерения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах животных проводили гамма-спектрометрическим методом по стандартным методикам [11]. Стронций определяли радиохимическим методом [12].

**Основная часть.** Волк может быть источником различных инфекционных и инвазионных заболеваний, например таких, как бешенство и многочисленные гельминтозы. Из последних серьезную опасность здоровью человека представляют эхинококкоз, токсокароз, трихинеллез.

В результате проведенных исследований установлено, что гельминты обитают во многих органах и тканях организма волка с разной степенью ЭИ и ИИ.

Нами у волка выявлено 24 вида гельминтов: *Alaria alata* (46,4%, ИИ 28–387 экз.), *Opisthorchis felinus* (7,1%, ИИ 1–3 экз.), *Pseudamphistomum truncatum* (3,6%, ИИ 1 экз.), *Metagonimus yokagawai* (3,6%, ИИ 1 экз.), *Spirometra erinacei europaei* (42,9%, ИИ 1–5 экз.), *Taenia pisiformis* (28,6%, ИИ 1–5 экз.), *Mesocestoides lineatus* (7,1%, ИИ 1–2 экз.), *Taenia krabbei* (14,3%, ИИ 1–2 экз.), *Taenia hydatigena* (25,0%, ИИ 1–30 экз.), *Dipylidium caninum* (39,3%, ИИ 1–9 экз.), *Taenia crassiceps* (14,3%, ИИ 1–2 экз.), *Diphyllobothrium latum* (2,3%, ИИ 1–3 экз.), *Echinococcus granulosus* (3,6%, ИИ 1 экз.), *Trichinella spiralis* (28,6%, ИИ 2–62 экз.), *Toxocara canis* (28,6%, ИИ 1–5 экз.), *Toxascaris leonine* (50,0%, ИИ 1–6 экз.), *Uncinaria stenocephala* (10,7%, ИИ 2–12 экз.), *Crenosoma vulpis* (7,2%, ИИ 1–3 экз.), *Thominox aerophilus* (7,2%, ИИ 2–3 экз.), *Diriofilaria immitis* (3,6%, ИИ 1 экз.), *Capillaria plica* (14,3%, ИИ 1–3 экз.), *Trichocephalus vulpis* (10,7%, ИИ 1–2 экз.), *Spirocerca lupi* (3,6%, ИИ 1 экз.), *Macracanthorhynchus catulinus* (7,2%, ИИ 2–3 экз.).

Нематоды были представлены 10 (41,7%) видами, цестоды – 9 (37,5%), трематоды – 5 (20,8%).

В кишечнике исследуемых животных обитает 16 (66,7%) видов гельминтов: нематод 5, цестод – 9, трематод – 2; в легких – 3 (12,5%): нематод 2, трематод 1; в печени 2 (8,3%) 2 вида трематод; в желудке, мышцах и сердце по 1 (4,1%) виду нематод.

Одним видом паразита было инвазировано 23,1% исследованных животных, двумя – 46,2%, тремя – 15,4% и четырьмя – 11,5%. Самцы инвазированы на 100%, самки – на 92,9%.

Сильно инвазированные волки были изъяты в окрестностях бывших населенных пунктов Степанов, Уласы, Масаны, а также на территории Брагинского и Наровлянского районов.

Из восьми видов цестод доминирует один – *Spirometra erinacei* (46,2%), к субдоминантам относится *Taenia hydatigena* (16,6%). Из десяти зарегистрированных видов нематод доминирует *Toxascaris leonine* (52,4%), к субдоминантам относятся *Toxocara canis* (33,3%) и *Trichinella spiralis* (28,0%).

Из пяти видов трематод, зарегистрированных у волка на территории заповедника, часто встречается лишь – *Alaria alata* (46,2%). Все остальные виды трематод встречались в единичных экземплярах. Впервые для Беларуси нами указывается волк в качестве дефинитивного хозяина нематоды *D. immitis*.

Одна самка нематоды длиной 13,7 см обнаружена нами в правом желудочке сердца половозрелой самки волка, отстрелянной 15.02.2006

в восточной части заповедника (окрестности бывшего населенного пункта Савичи).

Характеризуя в целом гельминтоценоз волка, необходимо отметить, что цестода *Spirometra erinacei* имеет эпизоотическое и эпидемическое значение. Личиночная стадия *Spirometra erinacei* – *Sparganum erinacei*, вызывает заболевание спарганоз. Паразитирует личинка (плевроцеркоид) в межмышечной соединительной ткани 22,2% кабанов и 100% енотовидных собак заповедника.

Вид *Alaria alata*, являясь возбудителем аляриоза, имеет широкое распространение и поражает ценные виды пушных зверей, чем наносит экономический ущерб звероводству и пушному промыслу. Данный вид трематоды локализуется в кишечнике не только волка, но и лисицы, енотовидной собаки, домашней собаки.

Трематоды *Alaria alata* обнаружены у 26,1% енотовидных собак, 29,4% лисиц. Метацеркарии *A. alata* присутствовали в легких одного кабана (2,3%) и мышцах рыжей полевки (1,3%). Исследования, проведенные в заповеднике, позволили выявить общую высокую зараженность гельминтами волка (от 96,2 до 100%).

Все найденные у волков виды гельминтов имеют ветеринарное значение. Паразитируют преимущественно у домашних собак и кошек.

Двадцать видов обнаруженных гельминтов известны как возбудители следующих заболеваний местных жителей: описторхоз, дипилидиоз, эхинококкоз, спарганоз, эуколеоз (томинксоэ), трихинеллез, ларвальный токсокароз, дифилляриоз.

Для последнего заболевания кроме возбудителя нематоды *Dirofilaria repens* (Railliet et Henry, 1911) нами установлен новый вид – нематода *D. immitis* (Leidy, 1856).

Также медицинским службам Беларуси следует обратить внимание на функционирование в восточной части Белорусского Полесья очага (очагов) метагонимоза. Инвазирование населения может происходить через рыбу, зараженную метацеркариями трематоды *M. yokogawai* (Katsurada, 1912).

Следует отметить, что на территории зоны отчуждения наблюдается высокое содержание радионуклидов в организме диких млекопитающих.

К сожалению, мы располагаем только фрагментарными данными по накоплению данного радионуклида в организме волка, обитающего на территории зоны отчуждения.

Среднее значение активности  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани волка, обитающего на территории зоны отчуждения, изменяется в широких пределах.

Наибольшая активность радионуклида в организме животного данной территории была 148,00, а наименьшая 9,62 кБк/кг (различия в накоплении составили более чем 15 раз).

На территории зоны отселения среднее значение активности составило  $29,65 \pm 11,4$  кБк/кг, что в 2 раза меньше, чем у животных, обитающих на территории зоны отчуждения (при небольшой выборке).

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани животных зоны отселения находилась в пределах от 18,24 до 41,07 кБк/кг [13–16].

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани волка, обитающего на территории зоны отчуждения составляло  $20,99 \pm 9,94$  кБк/кг, в то время как мышечная ткань накапливала данный радионуклид в пределах 8,0–21,0 Бк/кг.

По данным ученых Института зоологии НАН Беларуси, уровень удельной активности радионуклидов у волка составил в 1991–1992 годах в мышечной ткани 304,89 кБк/кг, в сердце – 329,94 кБк/кг, в легких – 290,48 кБк/кг, в печени 657,00 кБк/кг, в почках – 587,20 кБк/кг, в селезенке – 834,94 кБк/кг [17].

**Заключение.** Таким образом, при проведении исследований у волка нами было выявлено 24 вида гельминтов, причем паразиты обитают во многих органах и тканях организма животных.

Волкам, обитающим на территории Полесского региона Беларуси, и в частности на территории радиоактивного загрязнения, свойствен свой комплекс гельминтов. Можно отметить, что паразитокомплекс волка на территории заповедника в целом сформирован.

Предлагается сосредоточить внимание на дальнейшем изучении структуры паразитоценозов волка с целью оценки паразитологической ситуации на территории заповедника среди хищных животных.

Основными факторами, которые определяют уровень содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани диких животных, является плотность загрязнения и распределение радионуклида на территории местообитания.

Высокая активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  отмечается у волков, добытых на территории зоны отчуждения. Наибольшая активность радионуклида в организме животного данной территории была 148,00, а наименьшая 9,62 кБк/кг (различия в накоплении составили более чем 15 раз).

## Литература

1. Сонин М. Д. Гельминты сельскохозяйственных и охотничье-промысловых животных. М.: Наука, 1984. 205 с.

2. Беляева М. Я. К изучению гельминтофауны млекопитающих Беловежской пуши // Труды ВИГИС. 1959. Т. 6. С. 100–114.
3. Карасев Н. Ф. Гельминты млекопитающих Березинского заповедника // Березинский заповедник: исследования. Минск, 1970. Вып. 1. С. 155–179.
4. Пенькевич В. А. Современное состояние гельминтофауны млекопитающих Полесского государственного радиационно-экологического заповедника // Фаунистические исследования в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике: сб. науч. тр. / Ин-т радиологии. Гомель, 2008. С. 137–155.
5. Субботин А. М., Карасев Н. Ф. Общее в фауне гельминтов у представителей отряда хищных в Беларуси // Динамика биологического разнообразия фауны, проблемы и перспективы устойчивого использования и охраны животного мира Беларуси: тез. докл. IX Междунар. науч. конф., Минск, 20–22 окт. 2004 г. / Ин-т зоол. НАН Беларуси. Минск, 2004. С. 254–255.
6. Шималов В. Г. Гельминтофауна псовых в Белоруссии // Материалы науч. конф. Всесоюз. о-ва гельминтологов. М., 1971. Вып. 22. С. 289–293.
7. Ивашкин В. М. Методы сбора и изучения гельминтов наземных млекопитающих. М.: Наука, 1971. 123 с.
8. Козлов Д. П. Определитель гельминтов хищных млекопитающих СССР. М.: Наука, 1977. 275 с.
9. Гельминты домашних и диких животных Белоруссии: каталог / сост. И. В. Меркушева, А. Ф. Бобкова. Минск: Наука и техника, 1981. 120 с.
10. Скрябин К. И. Метод полных гельминтологических вскрытий позвоночных, включая и чело- века. М.: МГУ, 1928. 45 с.
11. Сборник нормативных, методических, организационно-распорядительных документов Республики Беларусь в области радиационного контроля и безопасности / под ред. В. Е. Шевчука. Минск, 1998. 230 с.
12. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения стронция-90 радиохимическими методами: СТБ 1059–98. Введ. 01.07.98. Минск: Госстандарт, 1998. 22 с.
13. Гулаков А. В. Содержание радионуклидов в основных видах охотничье-промысловых жи- вотных после аварии на Чернобыльской АЭС // Сборник научных трудов / Ин-т леса. Гомель, 2005. Вып. 63. С. 469–471.
14. Гулаков А. В. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме хищных промысловых животных // Биоразно- образие и роль животных в экосистемах: материалы IV междунар. науч. конф., Днепрпетровск, 9–12 окт. 2007 г. / Днепрпетр. нац. ун-г. Днепрпетровск, 2007. С. 468–469.
15. Гулаков А. В. Накопление и распределение  $^{137}\text{Cs}$  в организме хищных животных // Вісник Дніпропетровського університету. Вип. 16. Біологія. Екологія. 2008. № 7, т. 1. С. 68–73.
16. Гулаков А. В. Уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в организме хищных животных, обитающих на ра- диоактивно загрязненной территории // Современное состояние и перспективы ведения лесного хо- зяйства на загрязненных радионуклидами землях: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26–28 апр. 2011 г. / Ин-т леса НАН Беларуси. Гомель, 2011. С. 30–33.
17. Радиоактивное загрязнение животных различных групп: наземные млекопитающие // Жи- вотный мир в зоне аварии Чернобыльской АЭС / под ред.: Л. М. Сушени, М. М. Пикулика, А. Е. Пленина. Минск, 1995. С. 79–87.

### References

1. Sonin M. D. *Gel'minty sel'skokhozyaystvennykh i okhotnich'ye-promyslovykh zhivotnykh* [Helminths of agricultural and game-commercial animals]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 205 p.
2. Belyaeva M. Ya. To the study of the helminth fauna of mammals of the Belovezhskaya Pushcha. *Trudy VIGIS* [Proceedings of VIGIS], 1959, vol. 6, pp. 100–114 (In Russian).
3. Karasev N. F. Helminths of mammals of the Berezinsky Reserve. *Berezinskiy zapovednik: issledovaniya* [Berezinsky reserve: research]. Minsk, 1970, issue 1, pp. 155–179 (In Russian).
4. Pen'kevich V. A. The current state of helminthofauna in mammals of the Polesky State Radiation Ecological Reserve. *Faunisticheskiye issledovaniya v Poleskom gosudarstvennom radiatsionno-ekologicheskom zapovednike. Sbornic nauchnykh trudov* [Faunistic research in Poleskiy State Radiation Ecological Reserve: collection on scientific papers]. Gomel, 2008, pp. 137–155 (In Russian).
5. Subbotin A. M., Karasev N. F. Common in the fauna of helminths among representatives of the order of predators in Belarus. *Tezisy докладov IX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Dinamika biologicheskogo raznoobraziya fauny, problemy i perspektivy ustoychivogo ispol'zovaniya i okhrany zhivotnogo mira Belarusi"* [Theses reports IX of International scientific conference "Dynamics of the biological diversity of fauna, problems and perspectives of the sustainable use and protection of the animal world of Belarus"]. Minsk, 2004, pp. 254–255 (In Russian).

6. Shimalov V. G. Helminth fauna of dogs in Belarus. *Materialy nauchnoy konferentsii Vsesoyuznogo obshchestva gel'mintologov* [Materials of Scientific Conference All-Union of Helminthologists]. Moscow, 1971, pp. 289–293 (In Russian).

7. Ivashkin V. M. *Metody sbora i izucheniya gel'mintov nazemnykh mlekopitayushchikh* [Methods of collecting and studying helminths of terrestrial mammals]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 123 p.

8. Kozlov D. P. *Opredelitel' gel'mintov khishchnykh mlekopitayushchikh SSSR* [The determinant of helminths of carnivorous mammals of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 275 p.

9. Merkusheva I. V., Bobkova I. F. *Gel'minty domashnikh i dikikh zhivotnykh Belorussii: katalog* [Helminths of domestic and wild animals of Belarus: catalog]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1981. 120 p.

10. Skryabin K. I. *Metod polnykh gel'mintologicheskikh vskrytiy pozvonochnykh, vlyuchaya i cheloveka* [Method of complete helminthological autopsy of vertebrates, including humans]. Moscow, MGU Publ., 1928. 45 p.

11. *Sbornik normativnykh, metodicheskikh, organizatsionno-rasporyaditel'nykh dokumentov Respubliki Belarus' v oblasti radiatsionnogo kontrolya i bezopasnosti* [Collection of normative, methodological, organizational and administrative documents of the Republic of Belarus in the field of radiation monitoring and security]. Minsk, 1998. 230 p.

12. STB 1059–98. Radiation monitoring. Preparation of samples for determination of strontium-90 by radiochemical methods. Minsk, Gosstandart Publ., 1998. 22 p. (In Russian).

13. Gulakov A. V. The content of radionuclides in the main types of hunting and commercial animals after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific papers]. Gomel, 2005, issue 63, pp. 469–471 (In Russian).

14. Gulakov A. V. The  $^{137}\text{Cs}$  content in the body of predatory commercial animals. *Materialy IV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Bioraznoobraziye i rol' zhivotnykh v ekosistemakh"* [Materials of the IV International Scientific Conference "Biodiversity and the role of animals in ecosystems"]. Dnepropetrovsk, 2007, pp. 468–469 (In Russian).

15. Gulakov A. V. Accumulation and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the body of predatory animals. *Visnik Dnipropetrovs'kogo universytetu* [Bulletin of Dnepropetrovsk University], issue 16, Biology. Ecology, 2008, vol. 1, pp. 68–73 (In Russian).

16. Gulakov A. V. Levels of  $^{137}\text{Cs}$  in the body of predatory animals that live in a radioactively contaminated area. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy vedeniya lesnogo khozyaystva na zagryaznennykh radionuklidami zemlyakh"* [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Current state and perspectives of forest management on lands polluted with radionuclides"]. Gomel, 2011, pp. 30–33 (In Russian).

17. Radioactive contamination of animals of various groups: terrestrial mammals. *Zhivotnyy mir v zone avarii Chernobyl'skoy AES* [Animal world in the zone of the accident of the Chernobyl nuclear power plant]. Edited by L. M. Sushchenya, M. M. Pikulik, A. E. Plenin. Minsk, 1995, pp. 79–87 p. (In Russian).

#### Информация об авторах

**Гулаков Андрей Владимирович** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики. Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (246699, г. Гомель, ул. Советская, 108, Республика Беларусь). E-mail: Gulakov@gsu.by

**Пенькевич Владимир Антонович** – кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: blauehai@mail.ru

**Саевич Константин Федорович** – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и курортологии. Белорусский государственный экономический университет (220070, г. Минск, Партизанский пр-т, 26, Республика Беларусь). E-mail: kbez@bseu.by

#### Information about the authors

**Gulakov Andrey Vladimirovich** – PhD (Biology), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Zoology, Physiology and Genetics. Francisk Skorina Gomel State University (108, Sovetskaya str., 246699, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: Gulakov@gsu.by

**Pen'kevich Vladimir Antonovich** – PhD (Veterinary), Leading Researcher. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoyniki, Republic of Belarus). E-mail: blauehai@mail.ru

**Saevich Konstantin Fedorovich** – DSc (Biology), Professor, Professor the Department of Life Safety and Health Resort. Belarusian State Economic University (26, Partizansky Ave., 220070, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kbez@bseu.by

Поступила 25.03.2019

УДК 639.1.055.36

**А. И. Козорез<sup>1</sup>, А. В. Гуринович<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**НЕПРЕОДОЛИМЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ  
ЗИМНЕГО МАРШРУТНОГО УЧЕТА ДИКИХ ЖИВОТНЫХ**

Зимний маршрутный учет (ЗМУ) на протяжении многих десятилетий был основным видом учета в охотничьем хозяйстве, на основании которого определялась плотность и абсолютная численность охотничьих животных на конкретной территории. В данной статье мы показываем недостаточность теоретической обоснованности методики ЗМУ, наряду с заложенными в нее непреодолимыми практическими условиями его проведения. В небольших охотничьих хозяйствах технически сложно обеспечить достаточное количество маршрутов, которое снизит до приемлемого уровня статистическую ошибку, возникающую из-за неравномерного распределения животных. Количество следов на единицу длины учета на одном и том же участке сильно варьирует в течение одного зимнего периода. Равнозначно повторяющиеся значения плотности в течение одной зимы можно получить, только если длина суточного наследа вида в день учета будет варьировать в таких же пределах, как показатель учета. Это значит, что длину суточного хода нужно измерять только в день учета в каждой местности, отличающейся погодными условиями, глубиной снежного покрова, составом местообитаний и плотностью населения вида. Получить среднее значение суточного следа для каждого вида можно только в результате многократных замеров длины суточного наследа разных животных данного вида в течение дня проведения учетов, а это осуществить технически нереально. Даже если технически соблюсти все условия, получаемый показатель будет всего лишь индексом плотности, связанным с реальной плотностью коэффициентом неизвестной величины. Такие индексы можно использовать только для сравнения, но не для определения абсолютной численности диких животных.

**Ключевые слова:** управление дикими животными, учет диких животных, численность и плотность диких животных.

**A. I. Kazarez<sup>1</sup>, A. U. Hurynovich<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Ministry of Forestry of the Republic of Belarus<sup>2</sup>Belarussian State Technological University**INSURMOUNTABLE CONTRADICTIONS  
OF WINTER ROUTE CENSUS OF WILDLIFE**

For many decades, the Winter Route Census (WRC) was the main type of census in wildlife management, on the basis of which the density and absolute number of huntable wildlife in a particular territory were determined. In this article we demonstrate the insufficiency of the theoretical validity of the WRC technique, along with the insurmountable practical conditions for its implementation. In small hunting areas it is technically difficult to provide a sufficient number of routes that will reduce the statistical error arising due to the uneven distribution of animals to an acceptable level. The number of footprints per unit of route length in the same area varies greatly during the same winter period. Equivalently repeated density values during the same winter can be obtained if the daily length of species footprints chain will vary within the same limits as the census indicator only. This means the daily length of species footprints chain should be measured during the census day only in each locality that is distinguished by weather conditions, depth of snow, habitat composition and population density of the species. The average daily length of footprints chain for each species can only be obtained as the result of multiple measurements of the length of the footprints chain of different animals of the species during the day of the census, and this is technically unrealistic. Even if all the conditions are technically met, the resulting indicator will be just a density index associated with the actual density by a coefficient of unknown magnitude. Such indices can be used for comparison only, but not for determining the absolute number of wild animals.

**Key words:** wildlife management, winter rout census of wildlife, number and density of wildlife.

**Введение.** Зимний маршрутный учет (ЗМУ) на протяжении многих десятилетий был в регионах СССР, имеющих в зимний период устойчивый снежный покров, основным, а зачастую и

единственным видом учета, на основании которого определялась плотность, а с пересчетом на площадь обитания каждого вида – и абсолютная численность большинства видов охотничьих

животных на конкретной территории. Он до сих пор используется и является чаще всего основным методом учета в России и Беларуси.

Многолетняя практика применения данного и других видов учетов привела многих ученых и охотоведов-практиков к мнению, что получаемые значения плотности и численности диких животных зачастую далеки от реальных. Например, доктор биологических наук Коротин С. А. писал (2002): «...серьезный математический анализ, проведенный в последние годы, показал, что почти все существующие методы учета численности диких животных не обеспечивают получение достоверных результатов и вводят людей в заблуждение. В сущности – трагедия отрасли» [1].

Похожего мнения придерживаются ученые Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства им. Б. М. Житкова Россельхозакадемии (В. М. Глушков и другие, 2012): «Постепенное развитие теории учета охотничьих животных в России, базирующееся на работах А. Н. Формозова, реализовалось в методике зимнего маршрутного учета (ЗМУ). Проблемной темой считается точность учетов, связанная с методами расчета. Вместе с тем, практические работники на местах часто не соглашались с результатами ЗМУ, особенно по копытным животным, и определяют численность экспертным путем. Сложилось мнение, что в основе ошибок маршрутного учета лежат ошибки, возникающие непосредственно при проведении учетов, не поддающиеся исправлению методами статистической обработки» [2].

История абсолютных методов учета зверей на маршрутах по следам начинается в 1932 г., когда А. Н. Формозов впервые опубликовал разработанную им формулу количественного учета. При построении формулы автор исходил из того, что чем больше следов зверей встречается зимой на маршрутах, тем плотность населения вида должна быть выше; чем большее расстояние зверь пробегает за сутки, тем при равной встречаемости следов должна быть меньшая плотность населения вида. Таким образом, автором была предложена аксиома – плотность населения вида прямо пропорциональна количеству следов и обратно пропорциональна длине маршрута и длине суточного наследа зверя, что можно выразить формулой

$$Z = \frac{S}{md}, \quad (1)$$

где  $Z$  – плотность;  $S$  – число следов на маршруте;  $m$  – длина маршрута;  $d$  – суточный наслед зверя.

На практике для определения плотности используется выражение, преобразованное из

формулы (1) А. Н. Формозова, с поправками Малышева – Перелешина:

$$Z = \frac{KS}{m}, \quad (2)$$

в которой  $K$  является переводным коэффициентом пересчета линейного показателя учета в площадной показатель плотности, а производное от деления количества следов  $S$  на длину маршрута  $m$  – так называемым показателем учета. Коэффициент  $K$  рассчитывается по формуле С. Г. Приклонского как величина, обратно пропорциональная суточной длине следа, умноженной на экспериментально установленный коэффициент 1,57 [3, 4]:

$$K = \frac{1,57}{d}. \quad (3)$$

На первый взгляд все выглядит достаточно просто и убедительно: линейные меры длины в знаменателе формулы (1) перемножаются, образуя площадь, деление количества следов на площадь дает нам плотность. Для упрощения дальнейших объяснений мы пока опустим коэффициент 1,57, который является полученной эмпирическим путем постоянной величиной и корректирует только значения, но не суть  $K$ .

Критика данного метода чаще всего касается недостатков методического характера и административного регулирования его проведения и сбора материала, а также обработки и интерпретации полученных данных. Однако многочисленные попытки внесения поправок в инструкцию по проведению ЗМУ не принесли желаемых результатов. Поэтому мы решили проанализировать теоретическую обоснованность методики ЗМУ наряду с заложенными в нее условиями его проведения и сбора информации с тем, чтобы сделать вывод о его состоятельности, возможности дальнейшего улучшения и использования.

**Основная часть.** Проведение учетов диких животных издавна считалось необходимой и неотъемлемой частью ведения охотничьего хозяйства в виде управления их ресурсами. Однако в 80-х годах прошлого столетия наука о диких животных и практика управления их ресурсами в наиболее продвинутых в этой сфере западных странах столкнулась с неким кризисом. В 1981 г. профессор Университета штата Юта Чарльз Ромезбург опубликовал в «Журнале управления дикими животными» (The Journal of Wildlife Management) статью «Наука о диких животных: получение достоверных знаний», которая вызвала многочисленные дискуссии и обсуждения в международной научной среде. В ней автор подверг критике некоторые научные методы и

подходы, господствовавшие в те годы в среде ученых данного профиля. В частности, он писал (перевод наш): «многое в знаниях о диких животных является непроверенными гипотезами о моделях в природе, а предлагаемые исследовательские гипотезы возводятся в закон путем словесного повторения...» [5].

Именно таким многократным словесным повторением и была возведена в догму гипотеза А. Н. Формозова о том, что «запас прямо пропорционален числу пересеченных следов и обратно пропорционален длине маршрута и длине следа» [3].

Теоретическая обоснованность метода ЗМУ всегда принималась как аксиома, которая многократно повторяется во многих публикациях и многими авторами, даже критикующими данный метод. По мнению профессора Энтони Синклейра, «научным утверждением является то, которое может быть проверено и опровергнуто. Если оно потенциально не может быть опровергнуто, тогда это утверждение попадает в сферу религиозных верований. Таким убеждениям не место в научном процессе принятия решений для управления, поскольку они включают оценочные суждения, субъективность, предвзятость и догмы» (Sinclair, 1991, перевод наш) [6].

Как и всякая другая, гипотеза Формозова имела и имеет право на существование. Однако нам не удалось найти результатов научных исследований, проверяющих и подтверждающих достоверность как данного, так и многих других методов учета диких животных.

Доказать достоверность метода можно было бы путем многократных повторяющихся экспериментов на популяции с точно известным количеством животных. Очевидно, что такой эксперимент был бы чрезвычайно сложен технически – в природной среде точное количество животных всегда неизвестно, поэтому эксперимент мог бы быть надежным только в вольере очень большой площади с известным количеством выпущенных туда животных. О проведении таких исследований в подтверждение обоснованности методики ЗМУ нам неизвестно.

Альтернативой такому способу доказательств могло бы быть многократное, обеспечивающее достаточную повторяемость результатов проведение на одних и тех же территориях учетов данным методом в течение одной зимы (одного периода снежного покрова). При одной и той же плотности вида на территории проведения учета значения плотности, полученные от перемножения показателя учета на переводной коэффициент, полученный в тот же день учета, должны были быть приблизительно равными, то есть статистически значимо не различаться.

Многократные в течение одной зимы учеты с научными целями проводились, однако при этом не соблюдалось одно из главных условий – для каждого дня учета не рассчитывался необходимый пересчетный коэффициент.

Проведенные в Окском государственном заповеднике Л. Ю. Зыковой многократные ежедневные ЗМУ лося на одних и тех же маршрутах на протяжении четырех лет (с 1958 по 1962 г.) в течение всех пяти зимних месяцев с устойчивым снежным покровом выявили, что показатель учета как в течение одного месяца, так и между месяцами одного года может значительно различаться. То есть в периоды, в течение которых численность и плотность лося (тем более в заповеднике, где не проводится охота) не должны были существенно изменяться. Например, в 1958–59 гг. в ноябре насчитывалось в среднем 34,2 следа на 10 км, а в марте 5,6 (разница в 6,1 раза). В то же время встречаемость следов в декабре 1958 г. в разные дни месяца составляла от 2 до 39 (разница почти в 19 раз). В декабре 1959 г. число следов на 10 км маршрута составило 35,6, в марте – 4,4 (разница в 8 раз), а в декабре 1961 г. в разные дни встречаемость следов была от 2 до 48 (разница в 24 раза) [3].

Аналогичные исследования, пусть и в меньшем объеме, были проведены в 2017 г. в Беларуси А. И. Козорезом. Например, на постоянных маршрутах в республиканском ландшафтном заказнике «Налибокский» в 2012 г. при многократном проведении ЗМУ, показатель учета лося колебался от 0 до 30,6, оленя – от 6,8 до 35,7, косули – от 27,2 до 137,6 [7].

Такие различия в значениях показателя учета естественны, и привести их к единому значению, которое бы отражало плотность, могут только такие показатели переводного коэффициента, которые нивелируют их соответствующими значениями длины суточного следа. Например, если в некий день мы получаем показатель учета 2 особи на 10 км, а в другой этого же месяца 10 особей на 10 км (то есть первый показатель в 5 раз меньше второго), то, согласно формуле (2), длина суточного следа в первый день должна быть также в 5 раз меньше длины во второй день или очень близко к этому. Иначе значения плотности получатся разные.

Однако определения длины суточного следа для каждого дня учетов не проводились, что не позволяет сделать вывод о повторяемости результатов применения методики ЗМУ. Усилия многих исследователей в то время были направлены в совершенно другом направлении – на получение неких усредненных значений длины суточного следа, которые можно было бы свести в таблицу рекомендованных значе-



ний и использовать без проведения троплений следов в день учета. Очевидно, это обусловливалось тем, что и в то время исследователи понимали, что высчитывать переводной коэффициент для каждого дня учетов по каждой территории, отличающейся от других параметрами снегового покрова, погоды и местообитаний, не реально. Как результат, значения переводных коэффициентов стали применяться произвольно, путем выбора некоего значения, якобы найденного экспериментально, из предложенной в инструкции таблицы в зависимости от глубины снежного покрова. Или, что вообще абсолютно неприемлемо, назначаться административно, «приказом сверху» органов управления охотничьим хозяйством. Результаты, полученные от манипуляции с такими цифрами, являются результатом перемножения крайне нелинейного относительно плотности параметра следовой активности на произвольный коэффициент. То есть такие цифры вообще никак не могут отражать плотность, поскольку компенсации или нивелирования высокой вариабельности показателя учета реально рассчитанным коэффициентом не происходит.

Показатель учета часто называют еще и индексом следовой активности, умножением которого на значение, обратно пропорциональное длине суточного следа, мы якобы получаем плотность.

Вопрос об использовании индексов в получении данных о диких животных явился темой еще одной, развернувшейся на страницах западных научных журналов в начале 21 в. дискуссии, названной по имени ее инициаторов Андерсон против Энгемана (Anderson vs. Engeman).

Напомним, что индекс плотности – это некий косвенный показатель или признак, который изменяется предсказуемым образом с изменением популяционной плотности. Это может быть количество гнезд птиц на единицу площади, или количество следов на единицу маршрута, или количество фекальных окатышей оленей на единицу площади или маршрута. Предполагается, что чем больше насчитывается этих признаков на единицу площади, маршрута, или другой точки отсчета, тем больше плотность животных (Caughley, Sinclair, 1994) [8].

Однако индексы плотности могут быть полезными для управления ресурсами диких животных только в тех случаях, когда значения индекса изменяются прямо пропорционально значению плотности. Идеальным является соотношение индекса с плотностью 1:1. При таком соотношении изменение плотности, например, на 30% ведет к изменению отслеживаемого индекса также на 30%. Однако соот-

ношение может быть и другим, или соотношение между индексом и плотностью может носить нелинейный характер, что делает индекс бесполезным как при высоких, так и при низких плотностях.

Д. Андерсон (Anderson, 2001) в своей статье «Необходимость получать правильные базовые данные при полевых исследованиях диких животных» писал (перевод наш): «Концептуально, искомое значение индекса ( $C$ ) является продуктом параметра, представляющего интерес ( $N$ ) и вероятности его обнаружения или столкновения ( $p$ ): тогда  $C = pN$ . Методология индекса основывается на критическом и нереалистичном допущении относительно вероятности обнаружения ( $p$ ). Основное допущение является вольным пониманием того, что значение подсчета ( $C$ ) является показателем «относительной численности» и что такой индекс тесно отражает фактическую численность на протяжении типов местообитания, наблюдателей, а также других факторов. <...> То есть, подсчет слепо считается близким заменителем численности или плотности. Иными словами, надо полагать, что вероятность обнаружения ( $p$ ) постоянна по типам местообитаний, наблюдателям и другим факторам; это предположение кажется абсурдным. «Индекс» частично является функцией численности (переменной, представляющей для нас интерес), но также является функцией длинного списка переменных, связанных с учетчиком, окружающей средой, а также характеристиками обследуемых видов и их изменениями в течение многих лет. Даже если схема получения данных была построена правильно, от умозаключения, сделанного на основе такого индекса, нельзя ожидать выхода «достоверной информации». Использование значений индекса выглядит не только убого, но и, на самом деле, непрофессионально. Числа, полученные от таких обследований, не будут служить основой для достоверного знания, и будут представлять собой только впустую потраченные ресурсы» [9].

Другими словами, автор указывает на то, что коэффициент вероятности обнаружения искомого параметра нам никогда не известен, но все методики как бы закрывают на это глаза и исходят из того, что получаемый индекс прямо пропорционально отражает значение искомого параметра.

Оппонент Д. Андерсона по спору Р. Энгеман (Engeman, 2003) в своей статье «Более подробно о необходимости получать правильные базовые данные: популяционные индексы» выступил в защиту популяционных индексов и высказал мнение, что большей достоверности можно достичь более тщательным планирова-

нием методик получения данных, а также тщательностью их сбора.

Однако защищая популяционные индексы, Р. Энгеман однозначно указывает на то, что их можно использовать только в качестве относительных показателей, и предостерегает от любых попыток использовать их для определения абсолютной численности или плотности популяции, поскольку (перевод наш) «попытка оценить численность или плотность из значения индекса потребует дополнительных исследований, в которых известное значение плотности (а не оценки плотности) связано со значением индекса в статистической модели, и каждый набор обстоятельств окружающей среды и временных рамок потребует подтверждения функциональной зависимости. Попытки определить взаимосвязь между индексом и действительной численностью популяции путем установления взаимосвязи между индексом и оценкой плотности будет неприемлемым, выдавая только показание взаимосвязи между методами и эталоном до сих пор только оценки неизвестного качества» [10].

Как утверждал в ответной статье в 2003 г. Д. Андерсон (перевод наш) «В итоге при любом выборочном учете значение индекса чаще всего является подсчетом некоей неизвестной пропорции от популяции, и не всех представителей популяции. Эта неизвестная пропорция и является коэффициентом вероятности обнаружения. И она изменяется по бесчисленным причинам и основаниям, и поэтому фактически невозможно «надлежащим образом» сконструировать значения индекса кроме как в случае, когда значения коэффициента обнаружения равно единице. Без эмпирической оценки значения коэффициента обнаружения, значения индекса ненадежны, они безответственны и не имеют научной и логической основы, они в корне имеют изъян» [11].

Главный вывод, который нас интересует из данной дискуссии и который разделяют сторонники индексов, это то, что индексы всегда являются только относительными показателями и их никогда нельзя переводить в плотность и численность. Потому что коэффициент соотношения индекса с плотностью неизвестен, и его можно рассчитать, зная только значение плотности, но тогда нет смысла в самом индексе. Такое мнение относительно индексов является в настоящее время общепринятым в международной научной среде.

Таким образом, переводной коэффициент, обратно пропорциональный длине суточного следа, всего лишь может служить коэффициентом, переводящим переменный индекс следовой активности в индекс плотности с тем, что-

бы этот индекс стал действительно пропорционален (но по-прежнему в неизвестной пропорции) плотности.

Очевидно также, что при таких разбежках значений показателя учета, как нами показано выше из исследований Л. Ю. Зыковой и А. И. Козореза, при одной и той же плотности ни о каких постоянных или средних переводных коэффициентах не может быть и речи – нужно измерять длину суточного следа каждый раз в день учетов. Реально ли это?

Ответ очевиден. Животные одного вида в одной территориальной популяционной группировке имеют разные возраст, пол, индивидуальные особенности, характер агрегаций, места распределения в местообитаниях с разными характеристиками. Поэтому, даже если длина суточного хода и имеет некую закономерность, она будет различаться у всех этих животных. И чтобы получить реальную средневзвешенную величину суточного хода, нужно для каждого вида животных в один день с учетом провести десятки измерений. Не говоря уже о том, что в день учета необходимо найти по несколько животных с указанными различиями, чтобы была реальная репрезентативность выборки. Это является технически непреодолимым условием не только для охотничьих хозяйств, но и для тщательно спланированных научных исследований.

Еще одним непреодолимым, на наш взгляд, фактором ЗМУ является размер выборки при его проведении.

Изначально разработка метода ЗМУ была ориентирована на учет животных на больших территориях, предназначенный для оценки и мониторинга размера и динамики ресурсов охотничьих животных, не в разрезе отдельных охотничьих хозяйств, а крупных территориальных единиц, таких как республика, область, регион и т. д.

Это связано с тем, что для получения более-менее точных результатов значений плотности необходимо большое число учетных данных по каждому виду животного, что может быть обеспечено только при большом объеме учетных работ в рамках одного учета.

Один из авторов, участник совершенствования методики ЗМУ С. Г. Приклонский (1977) считал, что «для получения точности, пригодной для практического использования, необходимо набрать не менее 400 единиц учета, независимо от территории, на которой проводятся работы» [12]. Такое количество единиц учета по каждому виду, особенно по крупным копытным животным, зачастую невозможно набрать при проведении ЗМУ на территории отдельного охотхозяйства.

Объем собираемого учетного материала должен определяться по относительным статистическим ошибкам учета. Статистическая ошибка целиком зависит от амплитуды пространственных изменений плотности населения животных. Если животные размещены по территории относительно равномерно, то ошибка будет небольшой. Но если плотность населения имеет большие перепады значений, что чаще всего и бывает, то ошибка получается большой. На малых территориях пространственные изменения плотности населения могут быть почти такими же, как на больших территориях. Поэтому для получения достаточно достоверных результатов учета в каждом охотничьем хозяйстве, нужно закладывать почти столько же маршрутов, как и во всей области.

Российские ученые, занимавшиеся разработкой необходимого объема данных для ЗМУ (В. А. Кузякин и другие, 1986) [13], приводят подробную методику расчета норматива объема учетных работ с множеством математических формул и рекомендованные нормативы, рассчитанные на основе фактически собранного ими материала по регионам Российской Фе-

дерации. Так, для соседней с Беларусью Смоленской области определено 370 маршрутов, для Брянской – 330, Псковской – 300. Можно предположить, что если сделать расчет по приведенной методике, то и для областей Беларуси норматив будет примерно в таких же пределах. Поэтому если проводить ЗМУ в разрезе отдельных охотничьих хозяйств, то и для каждого хозяйства необходимо проложить около 300 маршрутов, что является нереальным объемом работ.

**Заключение.** Проведенное исследование позволяет нам сделать вывод, что проблемы ЗМУ, в первую очередь связанные с его недостоверной теоретической обоснованностью и недоказанностью достоверности получаемых результатов, а также с невозможностью технического обеспечения получения необходимого объема учетных работ (как по определению статистически достоверного показателя учета, так и средней длины суточного хода в дни учетов), на данном этапе непреодолимы и ставят запретительные рамки для использования этого метода для определения плотности и абсолютной численности диких животных.

### Литература

1. Корытин С. А. Звери и люди: К истории охотоведения в России. Киров: КОГУП: Киров. обл. тип., 2002. 576 с.
2. Факторы, препятствующие управлению ресурсами диких копытных животных в России / В. М. Глушков [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 3. С. 76–83.
3. Зыкова Л. Ю. Опыт ежедневного учета следов лосей на постоянном маршруте (1958–1962 гг.) // Труды Окского государственного заповедника. 1965. Вып. VI. Вопросы учета и рационализации использования запасов охотничьих животных. С. 330–352.
4. Кузякин В. А. Учет численности охотничьих животных. М.: КМК, 2017. 321 с.
5. Romesburg C. Wildlife Science: Gaining Reliable Knowledge // The Journal of Wildlife Management. 1981. Vol. 45, no. 2. P. 293–313.
6. Sinclair A. Science and the Practice of Wildlife Management // The Journal of Wildlife Management. 1991. Vol. 55, no. 4. P. 767–773.
7. Козорез А. И. Учет численности зимних кучек экскрементов как основа долгосрочного мониторинга за популяциями животных сем. Оленевые // Современные проблемы охотоведения и сохранения биоразнообразия: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения В. С. Романова, Минск, 16–17 мая 2017 г. / Белорус. гос. ун-т. С. 120–124.
8. Caughley G., Sinclair A. Wildlife ecology and management. Oxford: Blackwell publishing, 1994. 344 p.
9. Anderson D. R. The Need to Get the Basics Right in Wildlife Field Studies // Wildlife Society Bulletin. 2001. Vol. 29, no. 4. P. 1294–1297.
10. Engeman R. M. More on the need to get the basics right: population indices // Wildlife Society Bulletin. 2003. Vol. 31, no. 1. P. 286–287.
11. Anderson D. R. Response to Engeman: Index Values Rarely Constitute Reliable Information // Wildlife Society Bulletin. 2003. Vol. 31, no. 1. P. 288–291.
12. Приклонский С. Г. Учет численности охотничьих животных // Охота и охотничье хозяйство. 1977. № 12. С. 3–5.
13. Кузякин В. А., Челинцев Н. Г., Новиков Г. В. О нормах объема данных и затрат на зимний маршрутный учет // Вопросы учета диких животных. М., 1986. С. 130–141.

### References

1. Korytin S. A. *Zveri i lyudi: K istorii okhotovedeniya v Rossii* [Animals and people: To the history of game management in Russia]. Kirov, KOGUP Publ., Kirovskaya oblastnaya tipografia Publ., 2002. 576 p.

2. Glushkov V. M., Dvornikov M. G., Kolesnikov V. V., Safonov V. G., Sergeev A. A., Shirayayev V. V. Factors that impede the management of wild ungulate resources in Russia. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2012, no. 3, pp. 76–83 (In Russian).
3. Zykova L. Yu. Experience of daily recording of moose tracks on a permanent route (1958–1962). *Trudy Okskogo gosudarstvennogo zapovednika* [Proceedings of the Oka State Reserve], 1965, issue VI, Accounting and rationalization of the use of stocks of game animals, pp. 330–352 (In Russian).
4. Kuzyakin V. A. *Uchet chislennosti okhotnich'ikh zhivotnykh* [Census of huntable animals]. Moscow, KMK Publ., 2017. 321 p.
5. Romesburg C. Wildlife Science: Gaining Reliable Knowledge. *The Journal of Wildlife Management*, 1981, vol. 45, no. 2, pp. 293–313.
6. Sinclair A. Science and the Practice of Wildlife Management. *The Journal of Wildlife Management*, 1991, vol. 55, no. 4, pp. 767–773.
7. Kazarez A. I. Accounting for the number of winter dung piles as the basis for long-term monitoring of animal populations of the Cervidae family. *Materialy nauchno-praktnicheskoy konferentsii "Sovremennyye problemy okhotovedeniya i sokhraneniya bioraznoobraziya"* [Materials of the scientific and practical conference "Contemporary problems of game management and biodiversity preservation"]. Minsk, 2017, pp. 120–124 (In Russian).
8. Caughley G., Sinclair A. *Wildlife ecology and management*. Oxford, Blackwell Publishing, 1994. 344 p.
9. Anderson D. R. The need to get the basics right in wildlife field studies. *Wildlife Society Bulletin*, 2001, vol. 29, no. 4, pp. 1294–1297.
10. Engeman R. M. More on the Need to Get the Basics Right: Population Indices. *Wildlife Society Bulletin*, 2003, vol. 31, no. 1, pp. 286–287.
11. Anderson D. R. Response to Engeman: Index Values Rarely Constitute Reliable Information. *Wildlife Society Bulletin*, 2003, vol. 31, no. 1, pp. 288–291.
12. Priklonskiy S. G. Census of huntable animals. *Okhota i okhotnich'ye khozyaystvo* [Hunting and game management], 1977, no. 12, pp. 3–5 (In Russian).
13. Kuzyakin V. A., Chelintsev N. G., Novikov G. V. About the norms of the volume of data and costs for winter route census. *Voprosy ucheta dikikh zhivotnykh* [Wildlife census issues]. Moscow, 1986, pp. 130–141 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Козорез Александр Иванович** – кандидат сельскохозяйственных наук, начальник отдела охотничьего хозяйства. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (220048, г. Минск, ул. Мясникова, 39, Республика Беларусь). E-mail: s\_kozorez@mail.ru

**Гуринович Александр Владимирович** – лаборант кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: guron@inbox.ru

#### Information about the authors

**Kazarez Aliksandr Ivanavich** – PhD (Agriculture), Head of the Department of Hunting Management. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39, Myasnikova str., 220048, Minsk, Republik of Belarus). E-mail: s\_kozorez@mail.ru

**Hurnovich Aliksandr Uladzimiravich** – Laboratory Assistant, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: guron@inbox.ru

Поступила 18.03.2019

УДК 639.111.11

**А. М. Митренков**

Белорусский государственный технологический университет

**АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛЬЕРОВ В ОХОТНИЧЬИХ ХОЗЯЙСТВАХ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Статья посвящена использованию вольеров в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь. По состоянию на 1 января 2019 г. на территории охотничьих хозяйств в Республике Беларусь создано 26 вольеров. В охотхозяйствах используют вольер для передержки, вольер для притравки и охотничий вольер. Площадь вольеров колеблется от 5 га до 4,7 тыс. га. На их территориях содержат ценных трофейных животных: оленя благородного, лань европейскую, муфлона, оленя пятнистого и зубра. Численность многих диких животных в вольерах в 2018 г. увеличилась. В охотничьих хозяйствах на огороженной территории содержатся и разводятся кроме зверей еще и фазаны, но на основании действующей нормативной документации эту территорию нельзя назвать вольером: из-за площади и периода содержания фазанов. Особое внимание в статье обращается на распределение категорий угодий. Преобладающей категорией в вольерах являются лесные угодья, которые составляют от 56 до 99%, в среднем 86,6%. В статье приводятся данные по количеству и видам выпущенных в охотничьи угодья диких животных. В связи с созданными условиями в будущем количество охотничьих вольеров и вольеров для передержки будет увеличиваться.

**Ключевые слова:** охотничьи угодья, охотничье хозяйство, охотничий вольер, вольер для передержки, дикие животные расселение.

**A. M. Mitrenkov**

Belarusian State Technological University

**ANALYSIS OF THE USE OF OPEN-AIR CAGES IN THE HUNTING FARMS  
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Article is devoted to use of open-air cages in hunting farms of Republic of Belarus. As of January 1, 2019 in the territory of hunting farms in Republic of Belarus 26 open-air cages are created. In hunting grounds use the open-air cage for overexposure, the open-air cage for a pritravka and the hunting open-air cage. The areas of open-air cages fluctuates from 5 hectares to 4.7 thousand hectares. In their territories support valuable trophy animals: red deer, fallow deer European, mouflon, dappled deer and bison. The number of many wild animals in open-air cages in 2018 increased. In hunting farms in the fenced territory contain and get divorced, except animals also pheasants, but on the basis of the existing standard documentation it is this territory open-air cages cannot call: because of the area and the period of keeping of pheasants. Special attention in article is paid on distribution of categories of grounds. The prevailing category of grounds in open-air cages are forest, they make a share from 56 to 99%, on average 86.6%. Data on quantity and types, the wild animals who are let out in hunting grounds are provided in article. In communication of co the created conditions in the future the number of hunting open-air cages and open-air cages for overexposure will increase.

**Key words:** hunting grounds, hunting farm, hunting aviary, overexposure aviary, wild animals resettlement.

**Введение.** Одной из мер по повышению эффективности ведения охотничьего хозяйства можно рассматривать организацию вольерных охотничьих хозяйств. Основными направлениями их деятельности являются [1]:

– изучение особенностей жизнедеятельности отдельных видов для обоснования рекомендаций относительно их воспроизводства и обеспечения оптимальных условий существования путем внедрения системы биотехнических мероприятий;

– обеспечение охотничьих хозяйств племенным материалом и поголовьем для расселения непосредственно в угодья;

– поставка мясной и другой продукции предприятиям общественного питания [2].

Под вольером понимают огороженную часть территории, предназначенную для содержания, разведения и использования диких животных в неволе, в том числе путем проведения вольерной охоты.

**Основная часть.** Вольеры по целевому назначению подразделяются на демонстрационный вольер, вольер для передержки, вольер для притравки и охотничий вольер. В охотничьих хозяйствах используют в основном вольер для передержки, вольер для притравки и охотничий вольер.

Вольер для передержки – огороженная часть территории, предназначенная для временного содержания диких животных, в том числе для вселения (включая расселение), интродукции, реинтродукции, акклиматизации, скрещивания и воспроизводства.

Вольер для притравки – огороженная часть территории, предназначенная для содержания диких животных в целях проведения соревнований и (или) испытаний, а также тренировки (натаска, нагонка, притравка и иное обучение) охотничьих собак, ловчих птиц и иных животных, используемых для охоты;

Охотничий вольер – огороженная часть территории, предназначенная для содержания, разведения и использования диких животных в неволе, а также проведения вольерной охоты.

По состоянию на 1 января 2019 г. в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь создано 26 вольеров. Из них (рис. 1) 22 охотничьих вольера (84%), 2 вольера для передержки (8%) и 2 вольера для притравки (8%). Данное количество вольеров не постоянное. Так, за последние 10 лет было создано 13 вольеров для притравки и более 10 вольеров для передержки. Сокращение вольеров для притравки связано с сокращением численности дикого кабана на основании мероприятий, указанных в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 29.08.2013, № 758. Уменьшение количества вольеров для передержки связано с небольшим сроком их действия. Вольеры для передержки создаются на срок до полутора лет. Этот период может быть увеличен в связи с

завозом в него новой партии диких животных для передержки.

В табл. 1 представлены вольеры в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь. Наибольшее количество – 9 вольеров – создано в охотничьих хозяйствах Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь (далее Минлесхоз). Это связано с тем, что создание вольеров для передержки и охотничьих вольеров допускается на основании решения райисполкома на землях лесного фонда без изъятия земельных участков, за исключением лесных земель лесного фонда (природоохранных, рекреационно-оздоровительных и защитных лесов), при условии согласования землепользователями создания таких вольеров. На основании этого охотничьи хозяйства Минлесхоза при создании вольеров в лесных угодьях не должны ни с кем согласовывать это решение.

Общая площадь вольеров составляет 23 705,3 га, что в соответствии с данными Минлесхоза на 1261 га, или 5,3%, больше по сравнению с 2017 г.

Согласно нормативным документам, вольеры для передержки создаются на общей площади не более 20 га, охотничьи вольеры на общей площади более 100 га.

Площадь вольеров в охотничьих хозяйствах варьирует от 4 га (вольер для притравки) до 4,7 тыс. га (ГПУ НП «Припятский»).

Для определения структуры угодий в вольерах в табл. 2 было проанализировано восемь вольеров разных охотничьих хозяйств с разной формой пользования охотничьих угодий.

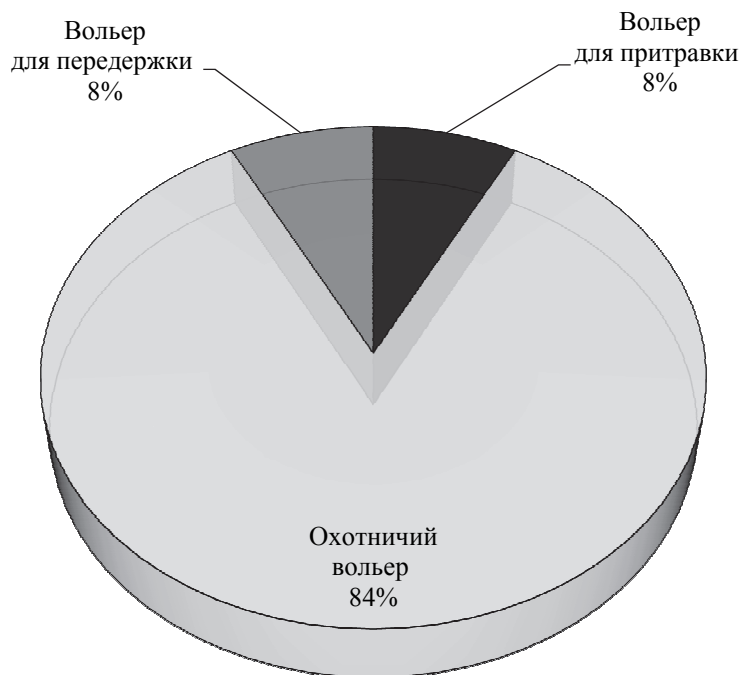


Рис. 1. Виды вольеров в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь

Таблица 1

## Вольеры в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь

Показатели	Пользователи				Всего
	РГОО «БООР»*	Минлесхоз	УД**	Прочие	
Количество вольеров, шт.:	2	9	7	8	26
– охотничьих	0	8	7	7	22
– для передержки	1	1	0	0	2
– для притравки	1	0	0	1	2
Площадь вольеров, га:	12,6	2 055,5	16 549,3	5 087,9	23 705,3
– охотничьих	0	2 054,1	16 549,3	5 083,9	23 687,3
– для передержки	7,6	1,4	0	0	9,0
– для притравки	5,0	0	0	4,0	9,0

Примечание. \*Охотничьи хозяйства республиканского государственного общественного объединения «Белорусское общество охотников и рыболовов». \*\*Охотничьи хозяйства Управления делами Президента Республики Беларусь.

Таблица 2

## Таблица распределения угодий в вольерах

Название вольера	Площадь угодий, га						Всего, га
	лесных		полевых		водно-болотных		
	га	%	га	%	га	%	
ГЛХУ «Островецкий лесхоз»	181,8	82,6	35,6	16,2	2,6	1,2	220
ОАО «Гродножилстрой»	184,1	94,9	9,5	4,9	0,4	0,2	194
ГЛХУ «Ивьевский лесхоз»	115,3	96,1	4,1	3,4	0,6	0,5	120
«Пашуковский»	1 452,2	64,6	768,8	34,2	27	1,2	2 248
«Шерешовское»	3 199,6	96,2	109,8	3,3	16,6	0,5	3 326
ГЛХУ «Березенский лесхоз»	154,6	99,1	0,3	0,2	1,1	0,7	156
ОАО «ГТФ «Неман»	262,7	99,9	0	0	0,3	0,1	263
ООО «Интерсервис»	794,1	59,0	546,5	40,6	5,4	0,4	1 346

Преобладающей категорией угодий в вольерах являются лесные, они составляют от 56 до 99%, в среднем 86,6%. Это связано с важностью данной категории охотничьих угодий для содержащихся в вольерах диких животных и малой интенсивностью мероприятий по ведению лесного хозяйства в насаждениях по сравнению с ведением сельского хозяйства в полевых угодьях. В Европе вольеры для содержания копытных животных включают лишь небольшие опушечные участки или острова древесно-кустарниковой растительности. До 80% площади вольера занимают культурные клеверные пастбища, перемежающиеся оврагами, остро-

вами деревьев [3]. Это обеспечивает полноценное питание животных в бесснежный период года, позволяет заготавливать достаточное количество сенажа для кормления зверей зимой и ранней весной [4], [5]. На территории проанализированных вольеров площадь полевых угодий составляет от 0 до 40,6%, в среднем 12,9%.

В вольерах на территории Беларуси содержат оленя благородного (в 23 вольерах их численность составляет 3,4 тыс. особей), лань европейскую (в 7 вольерах 1,9 тыс. особей), муфлона (в 2 вольерах 0,2 тыс. особей), оленя пятнистого (в 1 вольере 27 особей), зубра (в 1 вольере 23 особи) и кабана (в 2 вольерах 2 особи) (рис. 2).

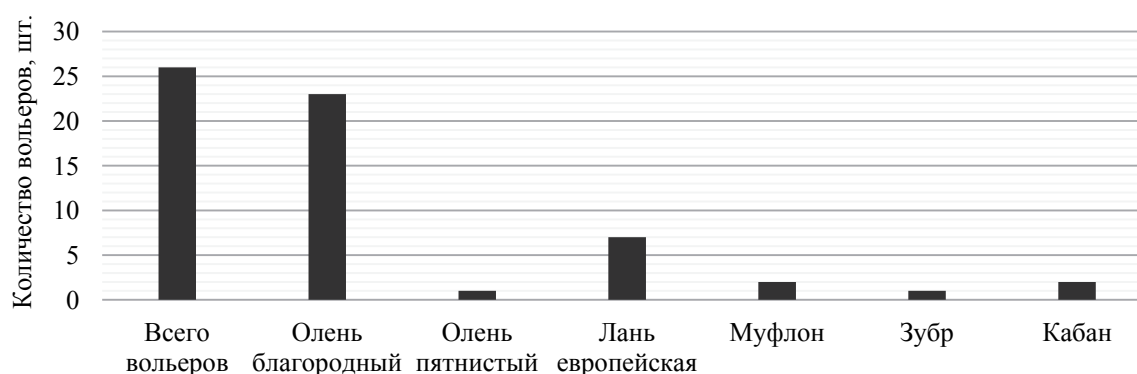


Рис. 2. Виды диких животных в вольерах

На основании этих данных в охотничьих вольерах содержатся трофейные дикие животные. Это связано с тем, что наиболее экономически эффективным является содержание в вольерах отобранных животных как объектов трофейной охоты [4].

В охотничьих хозяйствах Беларуси на огороженной территории содержатся и разводятся фазаны [4]. Но называть эту территорию вольером нельзя в связи с тем, что:

- площадь территории составляет 1,5 га;
- на данной территории животные содержатся более 5 лет;
- на данной территории не проводятся испытания и тренировки (натаска, нагонка, приправка и иное обучение) охотничьих собак, ловчих птиц и иных животных, используемых для охоты.

Численность многих диких животных в вольерах в 2018 г. увеличилась: лань европейская – на 842 особи, муфлон – на 7, зубр – на 6, олень пятнистый – на 3. Численность оленя благородного сократилась на 44 особи, основной причиной чего является выпуск его в охотничьи угодья. Было выпущено 189 особей. Кроме оленя благородного в 2018 г. было выпущено 6 особей лани европейской и по одной особи зубра, муфлона и оленя пятнистого.

Плотность животных в вольерах достаточно высока. Средний показатель плотности составляет 0,376 ос./га, что в 47 раз превышает

данный показатель в естественных условиях обитания, а максимальная плотность в вольерах – 1,244 ос./га, что в 26 раз превышает данный показатель в естественных условиях.

**Заключение.** В будущем количество охотничьих вольеров и вольеров для передержки будет увеличиваться по следующим причинам:

- упрощение процедуры получения лесных угодий для создания вольеров;
- определение владельцем охотничьего вольера сроков проведения вольерной охоты, в том числе с применением различных разрешенных способов и орудий, а также стоимости получаемой при этом продукции охоты. Это связано с тем, что дикие животные, содержащиеся и разведенные в вольере, находятся в собственности у владельца вольера [6];
- разведение диких животных и выпуск их в охотничьи угодья является эффективным способом увеличить количество и качество ценных охотничьих животных;
- разведение и добыча в охотничьих вольерах Беларуси диких кабанов с дальнейшим использованием мяса и продукции охоты [7]. Ранее разведение диких кабанов в вольерах было под запретом, поскольку существовали опасения, что животные могут заразиться и распространить болезни. Однако с учетом того, что вольер является ограниченной территорией, разводить диких кабанов разрешается при условии соблюдения особых защитных мер.

### Литература

1. Данилкин А. А. Биологические основы охотничьего трофейного дела. М.: КМК, 2010. 150 с.
2. Бахур О. В. Опыт ведения вольерного лесохозяйства «Шерешовское» // Труды БГТУ. 2012. № 1: Лесное хоз-во. С. 66–68.
3. Лепешко Д. Н. Вольер – долгосрочный проект. URL: <https://metabud.by/myfile/%B8%D0%9E%D0%A5%2010-2013.pdf> (дата обращения: 24.04.2019).
4. Ровкач А. И. Анализ создания и развития вольерного содержания охотничьих животных // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 264–267.
5. Мадейски М. Хозяйства и ремизы // Основной инстинкт. 2011. № 7. С. 36–40.
6. Нецветова Е. В. Законодательство об охоте и нормы смежных отраслей права, как тормоз развития зоокультуры. URL: <http://biospheresib.ru/science/%D0%B8%D0%B9/127-141.pdf> (дата обращения: 24.04.2019).
7. Дмитриева М. В Беларуси разрешат разведение диких кабанов в охотничьих вольерах // БЕЛТА. Минск, 2018. URL: <https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-razreshat-razvedenie-dikih-kabanov-v-ohotnichjih-voljerah-59687-2014> (дата обращения: 24.04.2019).

### References

1. Danilkin A. A. *Biologicheskiye osnovy okhotnich'yego trofeynogo dela* [Biological bases of hunting trophy business]. Moscow, KMK Publ., 2010. 150 p.
2. Bakhur O. V. Experience of maintaining captive forest hunting economy of Shereshovskoye. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 1: Forestry, pp. 66–68 (In Russian).
3. Lepeshko D. N. *Vol'yer – dolgosrochnyy proyekt* [The open-air cage is the long-term]. Available at: <https://metabud.by/myfile/%B8%D0%9E%D0%A5%2010-2013.pdf> (accessed 24.04.2019).
4. Rovkach A. I. Analysis of creation and development of captive keeping of hunting animals. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 264–267 (In Russian).
5. Madeyski M. Farms and remises. *Osnovnoy instinkt* [Basic instinct], 2011, no. 7, pp. 36–40 (In Russian).



6. Netsvetova E. V. *Zakonodatel'stvo ob okhote i normy smezhnykh otrasley prava, kak tormoz razvitiya zookul'tury* [Legislation on hunting and norms of allied industries of the right as brake of development of zooculture]. Available at: <http://biospheresib.ru/science/%D0%B8%D0%B9/127-141.pdf> (accessed 24.04.2019).

7. Dmitreyeva M. *V Belarusi razreshat razvedeniye dikikh kabanov v okhotnich'ikh vol'yerakh* [Belarus allowed breeding of wild boars in hunting enclosures]. Available at: <https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-razreshat-razvedenie-dikih-kabanov-v-okhotnichjih-voljerah-59687-2014> (accessed 24.04.2019).

#### **Информация об авторах**

**Митренков Андрей Михайлович** – магистр сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [jag2@yandex.by](mailto:jag2@yandex.by)

#### **Information about the authors**

**Mitrenkov Andrey Mikhaylovich** – Master of Agricultural Sciences, Assistant Lecturer, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [jag2@yandex.by](mailto:jag2@yandex.by)

*Поступила 26.03.2019*

УДК 582.28.08

**Я. А. Шапорова<sup>1</sup>, Т. Г. Шабашова<sup>2</sup>, Д. Б. Беломесяцева<sup>2</sup>, Е. О. Юрченко<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси<sup>3</sup>Полесский государственный университет**ОХРАНЯЕМЫЕ И РЕДКИЕ ВИДЫ МАКРОМИЦЕТОВ НА ТЕРРИТОРИИ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»**

В 2015–2018 гг. проведены комплексные исследования биоты макромицетов лесных биотопов во всех четырех функциональных зонах ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуца». Собран гербарный материал, насчитывающий более 450 образцов агарикоидных и афиллофороидных грибов (хранятся в Национальном гербарии MSK-F, лаборатория микологии ИЭБ НАН Беларуси), а также подготовлена их фототека.

Для территории Беловежской пуцы достоверно подтверждено произрастание 16 видов макромицетов, внесенных в Красную книгу Республики Беларусь. Состояние их популяций в ближайшее время не вызывает опасений. А такие охраняемые виды, как *Cantharellus cinereus*, *Pycnoporus cinnabarinus*, *Rhodofomes roseus* встречаются практически во всех лесничествах и характеризуются самыми высокими показателями обилия базидиом на исследуемой территории. Установлено также наличие более 70 видов агарикоидных и афиллофороидных грибов, которые можно отнести к категориям «редкие» и «очень редкие» на основании экспертной оценки по их встречаемости не только в пуце, но и в целом по стране. Они требуют дальнейшего наблюдения за динамикой их численности. Новый для Беларуси вид *Tuber rufum* Picco – трюфель рыжеющий следует в ближайшее время включить в перечень видов, подлежащих охране на территории республики.

**Ключевые слова:** микобиота, макромицеты, агарикоидные грибы, афиллофороидные грибы, охраняемые виды, редкие виды, национальный парк, Беловежская пуца.

**Ya. A. Shapороva<sup>1</sup>, T. G. Shabashova<sup>2</sup>, D. B. Belomesyatseva<sup>2</sup>, E. O. Yurchenko<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus<sup>3</sup>Polesky State University**PROTECTED AND RARE SPECIES OF MACROMYCETES ON THE TERRITORY  
OF THE NATIONAL PARK "BELOVEZHSKAYA PUSHCHA"**

The complex researches of the biota of macromycetes of forest biotopes in all four functional areas of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" were conducted in 2015–2018. The herbarium material had been collected, numbering more than 450 specimens of agaricoid and aphyllorphoroid fungi (stored in the National Herbarium MSK-F of the Laboratory of Mycology of the IEB NAS of Belarus), their photo library had also been prepared.

For the territory of Belovezhskaya Pushcha 16 species of macromycetes from the Red Book of the Republic of Belarus were confirmed. The condition of their populations does not cause concerns in the nearest future. And such protected species as *Cantharellus cinereus*, *Pycnoporus cinnabarinus*, *Rhodofomes roseus* were found in almost all forestries. They were characterized by the highest rates of abundance in the study area. The presence of more than 70 species of agaricoid and aphyllorphoroid fungi, which can be categorized as "rare" and "very rare" on the basis of expert assessment of their occurrence, not only in the Pushcha, but also in the whole country, had also been established. They require the monitoring of the dynamics of their numbers. A new species for Belarus – *Tuber rufum* Picco – reddish truffle should soon be included in the list of the protected species of the Republic of Belarus.

**Key words:** mycobiota, macromycetes, agaricoid mushrooms, aphyllorphoroid mushrooms, protected species, rare species, national park, Belovezhskaya Pushcha.

**Введение.** Беловежская пуца уникальный флористический объект, представляющий собой остаток реликтового первобытного равнинного леса, который в доисторические времена произрастал на территории всей Европы. Здесь Евразийская хвойно-лесная зона соприкасается

с Европейской широколиственно-лесной, это, в свою очередь, накладывает существенный отпечаток на формирование своеобразных ботанических комплексов, где входят в тесное взаимодействие таежные виды с неморальными. На сравнительно небольшой территории (3086 км<sup>2</sup>, или

≈1,5% от общей площади Беларуси) произрастает около 70% видового разнообразия флоры, отмеченного для республики [1]. А поскольку эволюция растений всегда находится в тесной взаимосвязи с грибными организмами, то и видовой состав микобиоты на территории НП «Беловежская пуша» будет уникальным.

Предмет данного исследования – биота макромицетов НП «Беловежская пуша». Ее изучение проводилось в 2015–2018 гг. с последующим анализом и выявлением охраняемых и очень редких видов (основанием для включения в группы «редкие» и «очень редкие» служила встречаемость этих видов на территории Беларуси согласно экспертной оценке).

Сбор материала проводился в различных лесных биотопах НП, расположенных во всех четырех функциональных зонах. В процессе работы преимущественно использовался маршрутный метод исследования. Для установления видовой принадлежности применялись стандартные методики, используемые в подобного рода работах. Латинские названия видов приведены согласно международной научной базе Index fungorum.

**Основная часть.** Первые исследования грибов на рассматриваемой территории приходятся на конец XIX ст. (Błoński, 1888, 1889). До середины 50-х годов прошлого столетия микологические исследования носили спонтанный характер (Дорогин, 1910; Steinecke, 1918; Siemazko, 1923, 1925) [2]. Целенаправленная работа по изучению макромицетов была организована с середины 60-х до конца 70-х годов XX ст., обобщенные результаты этих исследований вошли в монографические работы Г. И. Сержаниной, Э. П. Коморовой. Все образцы из этих сборов хранятся в Национальном гербарии (MSK-F).

Продолжительное время изучением афиллофороидных грибов на территории Беловежской пуши занимался П. К. Михалевич. Под его руководством также заложена традиция организации микологических выставок в период массового плодоношения грибов начиная с 1973 г. Причем эти экспозиции были передвижные и демонстрировались как в небольших городах Брестской области, так и в самом Бресте и Минске. С 1976 г. в их подготовке и работе активное участие принимали школьники – члены микологической секции научного общества Каменюкской средней школы (находится на территории пуши), а в 1983 г. школьники из Каменюк провели такую выставку и представили свои рефераты по грибам на ВДНХ в Москве, где получили 20 медалей. В результате исследований П. К. Михалевича видовой состав грибов Беловежской пуши был

пополнен 122 видами афиллофоровых грибов [3].

С 1990 по 2014 г. изучение микобиоты на территории Беловежской пуши опять носило фрагментарный характер, эту работу проводили сотрудники лаборатории микологии ИЭБ НАН Беларуси (Гапиенко О. С., Беломесяцева Д. Б., Шабашова Т. Г., Шапорова Я. А., Юрченко Е. О. и др.) [4].

На начало 2015 г. во всех официальных сводках количественный состав макромицетов (агарикоидные и афиллофороидные) НП составлял 570 видов [1].

В 2015–2018 гг. было возобновлено комплексное изучение микобиоты НП «Беловежская пуша».

В результате проведенной работы собран гербарный материал, насчитывающий более 450 образцов макромицетов, а также подготовлена их фототека.

Исследования по ксилотрофным грибам нашли свое частичное отражение в уникальном атласе-определителе [5].

Исследования подтвердили произрастание здесь следующих видов грибов, внесенных в Красную книгу Республики Беларусь [6]:

- 1) *Cantharellus cinereus* (Pers.) Fr. – лисичка серая;
- 2) *Clavariadelphus pistillaris* (L.) Donk – клавариадельфус пестиковый;
- 3) *Cortinarius rheubarbarinus* Rob. Henry – паутинник ревеневый;
- 4) *Dentipellis fragilis* (Pers.) Donk – дентипелис ломкий;
- 5) *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With. – фистулина печеночная, или печеночница обыкновенная;
- 6) *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. – ганодерма блестящая (трутовик лакированный);
- 7) *Gastrum campestre* Morgan – земляная звезда полевая;
- 8) *Grifola frondosa* (Dicks.) Gray – грифола многошляпочная (грифола курчавая, гриббаран);
- 9) *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. – ежовик коралловидный;
- 10) *Hygrophorus nemoreus* (Pers.) Fr. – гигрофор дубравный;
- 11) *Polyporus umbellatus* (Pers.) Fr. – полипорус зонтичный (грифола зонтичная, трутовик разветвленный);
- 12) *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst. – пикнопорус киноварно-красный;
- 13) *Rhodofomes roseus* (Alb. & Schwein.) Vlasák (Sen. *Fomitopsis rosea* (Alb. & Schwein.) P. Karst. – трутовик розовый;
- 14) *Sparassiss crispa* (Wulfen) Fr. – спарассис курчавый;

15) *Sparassis laminosa* Fr. – спарассис пластинчатый;

16) *Spathularia flavida* Pers. (Syn. *Spathularia clavata* (Schaeff.) Sacc.) – спатулярия желтоватая, или булавовидная.

Не подтверждено фактическим материалом произрастание на территории национального парка трюфеля летнего – *Tuber aestivum* Vitt., однако все косвенные признаки (типичные места произрастания, устные сообщения местных жителей о находках) свидетельствуют о том, что данный вид здесь должен встречаться. Это предположение подкрепляется также тем, что в 2016 г. на территории Беловежской пуши найден новый для Беларуси вид – *Tuber rufum* Pico – трюфель рыжеющий (его статус охраны уточняется).

Следует отметить тот факт, что показатели обилия и общественности базидиом видов, подлежащих охране в Беловежской пуше, имеют верхние границы показателей, это свидетельствует о хорошем состоянии популяций. А такие виды, как *Cantharellus cinereus*, *Russulorhizus cinnabarinus*, *Rhodofomes roseus*, встречаются практически во всех лесничествах национального парка.

Наиболее интересными находками среди редких агарикоидных грибов являются:

1) *Boletus aereus* Bull. – белый гриб темно-бронзовый;

2) *Boletus pinophilus* Pilát & Dermek – белый гриб соснолюбивый;

3) *Cortinariolus violaceus* (L.) Gray – паутинник фиолетовый;

4) *Lactarius semisanguifluus* R. Heim & Leclair – рыжик млечно-красный;

5) *Leccinum quercinum* (Pilát) E. E. Green & Watling – подосиновик дубравный (дубовый);

6) *Pluteus leoninus* (Schaeff.) P. Kumm. – лютей львиный (львино-желтый);

7) *Russula rhodopoda* Zvára [as 'rhodopus'] – сыроежка розовоножковая;

8) *Russula rosacea* (Pers.) Gray – сыроежка розовидная;

9) *Volvvariella bombycina* (Schaeff.) Singer – вольвариелла атласная;

10) *Xerocomus chrysenteron* (Bull.) Qué. – моховик пестрый (трещиноватый).

Обычно вышеперечисленные виды не на особо охраняемых природных территориях тяготеют к участкам с низкой антропогенной нагрузкой и имеют обилие – «единично» (1), а общественность – «маленькими группами» (2) или «одинокими экземплярами» (1). На территории национального парка они же имели обилие – «во многих местах» (4) и, соответственно, общественность – «рядами, кольцами или другими скоплениями» (4), что также является свидетельством устойчивого экологического состояния биотопов, в которых они произрастают.

**Заключение.** Таким образом, в ходе обследования лесных массивов во всех четырех функциональных зонах НП «Беловежская пуша» установлено, что здесь произрастает 16 видов макромицетов, внесенных в Красную книгу Республики Беларусь, состояние их популяций не вызывает опасений. Более 70 видов можно отнести к категории «очень редкие». Дальнейшее наблюдение за динамикой их численности как на территории пуши, так и в целом по республике может служить основанием для внесения этих видов в нормативно-правовые акты, касающиеся охраны биоразнообразия.

### Литература

1. Наука [Электронный ресурс] // Национальный парк «Беловежская пуша». 2019. URL: <https://npbp.by/about/science/> (дата обращения: 10.02.2019).

2. Поликсенова В. Д., Гирилович И. С., Храмов А. К. К вопросу о микологических и фитопатологических исследованиях в Беловежской пуше // Беловежская пуша – 21 век. 2001–2019. URL: <http://bp21.org.by/ru/books/celeb012.html> (дата обращения: 10.02.2019).

3. Михалевич П. К. Флора трутовых грибов Беловежской пуши // Беловежская пуша. Исследования. 1971. Вып. 4. С. 120–145.

4. Макромицеты, микромицеты и лишенизированные грибы Беларуси: гербарий Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича (MSK-F, MSK-L) / О. С. Гапиенко [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2006. 501 с.

5. Атлас-определитель кислототрофных грибов, кустистых и листоватых лишайников Национального парка «Беловежская пуша» / Т. Г. Шабашова [и др.]. Брест: Альтернатива, 2016. 247 с.

6. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / редкол.: И. М. Качановский (предс.) [и др.]. Минск: Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. 448 с.

### References

1. *Nauka* [The science]. Available at: <https://npbp.by/about/science/> (accessed 10.02.2019).

2. Poliksenova V. D., Girilovich I. S., Khramtsov A. K. *K voprosu o mikologicheskikh i fitopatologicheskikh issledovaniyakh v Belovezhskoy pushche* [On the question of the mycological and

psychopathological studies in Belovezhskaya Pushcha]. Available at: <http://bp21.org.by/ru/books/celeb012.html> (accessed 10.02.2019).

3. Mikhalevich P. K. Flora of polypore mushrooms of Belovezhskaya Pushcha. *Belovezhskaya pushcha. Issledovaniya* [Belovezhskaya Pushcha. Research], 1971, vol. 4, pp. 120–145 (In Russian).

4. Gapienko O. S., Belomesyatseva D. B., Kobzar N. N., Kordiyako N. G., Korinyak S. I., Shabashova T. G., Shaporova Ya. A., Yurchenko E. O. *Makromitsety, mikromitsety i likhenizirovannyye griby Belarusi: gerbaryy Instituta eksperimental'noy botaniki im. V. F. Kuprevicha (MSK-F, MSK-L)* [Macromycetes, micromycetes and lichenized mushrooms of Belarus: herbarium of the V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany (MSK-F, MSK-L)]. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2006. 501 p.

5. Shabashova T. G., Yurchenko E. O., Belomesyatseva D. B., Arnolbik V. M. *Atlas-opredelitel' ksilotrofnykh gribov, kustistykh i listovatykh lishaynikov Natsional'nogo parka "Belovezhskaya pushcha"* [Atlas determination of xylotrophic fungi, bushy and leafy lichens of the National Park "Belovezhskaya Pushcha"]. Brest, Al'ternativa Publ., 2016. 247 p.

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

### Информация об авторах

**Шапорова Ядвига Александровна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [shaparava@yandex.by](mailto:shaparava@yandex.by)

**Шабашова Татьяна Гарьевна** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией микологии. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220037, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: [tiniti@inbox.ru](mailto:tiniti@inbox.ru)

**Беломесяцева Дарья Борисовна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220037, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: [dasha\\_belom@yahoo.com](mailto:dasha_belom@yahoo.com)

**Юрченко Евгений Олегович** – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии. Полесский государственный университет (225710, г. Пинск, ул. Пушкина, 4, Республика Беларусь). E-mail: [eugene\\_yu@tut.by](mailto:eugene_yu@tut.by)

### Information about the authors

**Shaporova Yadviga Aleksandrovna** – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [shaparava@yandex.by](mailto:shaparava@yandex.by)

**Shabashova Tatiana Gar'yevna** – PhD (Biology), Head of the laboratory. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [tiniti@inbox.ru](mailto:tiniti@inbox.ru)

**Belomesyatseva Dar'ya Borisovna** – PhD (Biology), Leading Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [dasha\\_belom@yahoo.com](mailto:dasha_belom@yahoo.com)

**Yurchenko Evgeniy Olegovich** – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Biotechnology. Polesky State University (4, Pushkina str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: [eugene\\_yu@tut.by](mailto:eugene_yu@tut.by)

Поступила 19.03.2019

УДК 639.1.052(476.1)

**Н. Т. Юшкевич, А. Д. Деруго**

Белорусский государственный технологический университет

**ПОЛОЦКИЙ УЧЕБНО-ОПЫТНЫЙ ЛЕСХОЗ:  
СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Лесхоз как учебно-опытный создан для подготовки будущих специалистов лесного хозяйства: получения навыков ведения лесного хозяйства, изучения лесозаготовительной деятельности, лесоустроительных и других работ, изучения древесно-кустарниковой, травянистой растительности, вредителей и болезней леса, а также для проведения научных и опытных работ.

В статье рассмотрены основные виды деятельности лесхоза: лесохозяйственная, которая включает организацию ведения лесного хозяйства, направленную на эффективное использование лесных ресурсов, защиту, охрану и воспроизводство лесов, сохранение и создание на закрепленной территории высокопродуктивных, биологически устойчивых лесов и лесной фауны; коммерческая, целью которой являются разработка лесосечного фонда, вывозка древесины из леса на промышленные склады или другие склады потребителей для удовлетворения потребностей внутреннего и внешнего рынков, а также развитие побочного лесопользования и заготовка второстепенных лесных ресурсов.

Основной деятельностью в промышленном производстве лесхоза являются лесозаготовки и реализация сортиментной древесины в круглом виде на внутренний рынок.

Вместе с тем для повышения эффективности подготовки будущих специалистов, ведения лесного хозяйства, получения дополнительных финансовых доходов Полоцкому учебно-опытному лесхозу следует разработать перспективную программу развития, в которой необходимо предусмотреть мероприятия по дальнейшей модернизации цеха переработки древесины, по техническому перевооружению лесозаготовительного блока, а также строительство туристической базы для подготовки специалистов по экологическому и охотничьему туризму.

**Ключевые слова:** подготовка специалистов, эффективность, доход, рациональное использование, устойчивое развитие.

**N. T. Yushkevich, A. D. Derugo**

Belarusian State Technological University

**POLOTSK TRAINING AND EXPERIMENTAL FORESTRY:  
CONDITION, PROBLEMS, PROSPECTS**

Scientific-experimental forestry created for the training future forestry specialists: for obtaining forestry skills, for studying logging, forest management and other activities, tree and shrub vegetation, grass vegetation, pests and forest diseases, and also for scientific and experimental work.

The article describes the main activities of the forestry: forestry activities, which includes the organization of forestry, aimed at the effective use of forest resources, protection, conservation and reproduction of forests; preservation and creation of highly productive, biologically sustainable forests and forest fauna in the fixed territory; commercial activities, which includes the development of a logging fund, removal of wood from the forest to industrial warehouses or other consumer warehouses, to meet the needs of the internal and external markets, as well as the development of side forest use and the harvesting of secondary forest resources.

The main activities in the industrial production of forestry are logging and sales of assorted wood in a round shape to the domestic market.

At the same time, in order to increase the efficiency of training future specialists, forestry, and obtain additional financial income, the Polotsk Training Experimental Forestry Enterprise should develop a promising development program in which it is necessary to foresee measures for the further modernization of the timber processing workshop, technical re-equipment for the logging unit, construction of a tourist base for the training of specialists in ecological and hunting tourism.

**Key words:** training specialists, efficiency, income, rational use, sustainable development.

**Введение.** В 1912 году в Полоцке существовала школа лесных кондукторов, в которой готовили специалистов лесного хозяйства для казенных лесов России.

В ноябре 1921 года открылся Полоцкий лесной техникум, который разместился в зда-

нии бывшего Спасо-Евфросиньевского женского епархиального училища, построенного в 1908 году для подготовки учителей церковно-приходских школ.

При техникуме был организован учебно-опытный лесхоз для проведения учебных и

производственных практик учащихся и опытно-исследовательской работы преподавателей.

Учебно-опытный лесхоз филиала учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» «Полоцкий государственный лесной колледж» Министерства образования Республики Беларусь организован в январе 1962 года на базе Боровухского лесничества Полоцкого лесхоза в соответствии с Постановлением СМ БССР от 14.11.1961 года № 646, приказами Главного управления лесного хозяйства при СМ БССР № 302 от 17.11.1961 года и Витебского областного управления лесного хозяйства № 219 от 21.11.1961 года.

Лесхоз как учебно-опытный создан для подготовки будущих специалистов лесного хозяйства: получения навыков ведения лесного хозяйства, изучения лесозаготовительной деятельности, лесоустроительных и других работ, изучения древесно-кустарниковой, травянистой растительности, вредителей и болезней леса, а также для проведения научных и опытных работ [1]. Одним из факторов повышения качества подготовки будущих специалистов является эффективность производственно-хозяйственной деятельности лесхоза.

**Основная часть.** Учебно-опытный лесхоз расположен в западной части Полоцкого района Витебской области. Согласно лесорастительному районированию Республики Беларусь [2], леса лесхоза относятся к Западно-Двинскому лесорастительному району подзоны широколиственно-еловых лесов и входят в комплекс Полоцких лесных массивов.

Протяженность территории лесхоза с севера на юг – 13,0 км и с востока на запад – 27,0 км.

С северной и восточной стороны лесхоз граничит с Полоцким лесхозом, на западе – с Верхнедвинским лесхозом. Южная граница лесхоза проходит по реке Западная Двина и примыкает к городской черте г. Полоцка. Деления на лесничества лесхоз не имеет.

Административное здание лесхоза находится в г. Полоцке, в 100 км от областного центра – города Витебска и в 240 км от г. Минска. Согласно геоморфологическому районированию, территория лесхоза относится к Полоцкой озерно-ледниковой низине. Этот самый крупный район Белорусского Поозерья вытянут в субширотном направлении на 190 км при максимальной ширине до 85 км.

Общая площадь Полоцкой низины около 12 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 46% площади Белорусского Поозерья. Граница современной низины проводится по горизонтали 140 м. Учитываемый уровень приледникового озера, граница распространяется до 150–160 м абсолютной высоты. Рельеф Полоцкой низины отличается

несколькими закономерностями. Высота поверхности в центральной части составляет 130–140 м, а на периферии на склонах возвышенностей увеличивается до 150–160 м. Колебания высот составляют от 102 м (урез воды в Западной Двине) до 179 м (левобережье р. Полоты). В целом низина представляет чашу с неровными берегами и волнистым дном.

Основными элементами поверхности современной низины являются речные долины, остаточные озера, моренные и камовые поднятия – острова бывшего озера, золотые формы. Река Западная Двина отличается многочисленными притоками: слева – Друя, Дисна, Нача, Ушача, Улла, Лучеса; справа – Дрыса, Оболь. В долинах выделяется пойма шириной 40–400 м, высотой над уровнем реки 2–5 м. В низовьях долин четко выражены первая и вторая эрзионно-аккумулятивные надпойменные террасы на высотах 5–9 и 13–16 м.

Климатические условия территории расположения лесхоза особенно благоприятны для выращивания сосны и ели, менее благоприятны для выращивания дуба. Они также являются оптимальными для роста мягколиственных насаждений: березы, ольхи серой и черной, осины.

Основными породами для культивирования являются сосна, ель.

Площадь покрытых лесом земель составляет 9846,1 га, в том числе суходольных лесов 7465,2 га (75,8%) и болотных лесов 2380,9 га (24,2%). Фрагментарность: количество отдельных контуров-участков – 531 шт., их минимальная площадь – 0,1 га, максимальная – 2107,3 га.

Климат района расположения лесхоза в целом характеризуется пониженной теплообеспеченностью и повышенной влажностью по отношению к остальной территории республики.

Среднегодовая температура воздуха составляет 5,2°C. Средняя температура воздуха в январе – минус 7,2°C, в июле – плюс 17,5–18°C. Максимальная температура воздуха – плюс 36°C, минимальная – минус 40°C. Вегетационный период длится 180–185 суток (примерно с 15 апреля по 15–20 октября). Продолжительность периода с температурой воздуха выше 0°C – 225–230 суток, выше 5°C – 180–190 суток, выше 10°C – 140–45 суток и выше 15°C – 75–80 суток. Средняя за год относительная влажность – 80%. Среднее число дней с туманами за год – 45. Среднее число дней с грозами за год – 25.

Количество осадков за год – 580–600 мм.

Средняя дата первых осенних заморозков – 25–30 сентября, последних весенних – 10–15 мая.

Снежный покров появляется 5–10 декабря, время схода снега в лесу – 12–18 апреля. Толщина снежного покрова – 20–30 см.

Средняя глубина промерзания почвы – 60–70 см.

Согласно «Стратегии адаптации лесного хозяйства Республики Беларусь к изменению климата на период с 2010 до 2050 года», в Беларуси прогнозируются существенные климатические изменения. Ожидается медленное нарастание температуры всех месяцев года, наиболее существенное – в зимние месяцы, сентябре и октябре. Повышение зимних температур составит 3–4°C. Причем температура июля останется практически без изменений. Предполагается увеличение сумм осадков по всей продолжительности года на 1–5 мм в месяц. Наиболее значительное увеличение сумм осадков по сравнению с базовым периодом предусматривается в ноябре – январе и июне – июле.

Основные направления и виды деятельности лесхоза:

– лесохозяйственная – включает организацию ведения лесного хозяйства, направленную на эффективное использование лесных ресурсов, защиту, охрану и воспроизводство лесов; сохранение и создание на закрепленной территории высокопродуктивных, биологически устойчивых лесов и лесной фауны;

– коммерческая – включает разработку лесосечного фонда, вывозку древесины из леса на промышленные склады или другие склады потребителей для удовлетворения потребностей внутреннего и внешнего рынков, а также развитие побочного лесопользования и заготовку второстепенных лесных ресурсов.

Основной деятельностью в промышленном производстве лесхоза являются лесозаготовки и реализация сортиментной древесины в круглом виде на внутренний рынок. Промышленное производство включает в себя производство пилопродукции, которое осуществляется на отечественном оборудовании.

Доход лесхоза от лесного хозяйства в 2017 году составил 851 617 руб., из них поступления платы за древесину в заготовленном виде от рубок главного пользования, проводимых по лесохозяйственной деятельности (продажа лесоматериалов), – 632 202 руб. (74,2%), платы за древесину в заготовленном виде от рубок промежуточного пользования и прочих рубок – 165 126 руб. (19,4%), попенной платы за лес, отпускаемый на корню, – 54 289 руб. (6,4%). Плата за побочные лесные пользования, заготовку живицы, второстепенных лесных ресурсов не поступала. С 1 га лесной площади лесхоза размер лесного дохода составил 84 руб.

Одним из основных условий ведения интенсивного лесохозяйственного производства, осуществления лесовосстановительных меро-

приятий и охраны лесов, более полного использования рекреационных функций лесных насаждений является достаточная обеспеченность территории лесхоза путями транспорта.

Важнейшими транспортными путями в районе расположения лесхоза являются автомобильные дороги республиканского значения: Полоцк – Миоры – Браслав (Р14), Витебск – граница Латвийской Республики (Григоровщина) (Р20), Полоцк – Россоны (Р24), Полоцк – Глубокое – граница Литовской Республики (Котловка) (Р45), Лепель – Полоцк – граница Российской Федерации (Юхновичи) (Р46).

Особенностями лесного фонда лесхоза, влияющими на размеры лесопользования, являются наличие избыточно увлажненных земель – 34,2%, относительно большая площадь участков леса с ограниченным режимом лесопользования – 27,4% от общей площади лесных земель, а также высокий удельный вес спелых и перестойных насаждений – 23,0%. В целом доля лесов, возможных для эксплуатации, составляет 72,2%. Ежегодный размер рубок главного пользования, находящийся в труднодоступных участках леса, составляет 10,6%.

Основной целью развития лесозаготовительного производства в лесхозе является обеспечение потребности предприятий народного хозяйства в древесном сырье, а также освоение расчетной лесосеки в полном объеме с использованием современной многооперационной техники, оборудования и технологий.

Освоение некоторых лесосырьевых ресурсов на территории лесхоза по ряду причин остается сложной задачей. Основной причиной является сложившаяся структура потребления древесины, что объясняет неиспользование расчетной лесосеки по мягколиственным породам.

Главнейшими условиями дальнейшего увеличения производства и реализации продукции леса является внедрение ресурсосберегающих современных технологий лесопиления, увеличение объемов переработки мелкотоварной и малоценной мягколиственной древесины.

В год, предшествующий лесоустройству, в лесхозе заготовлено 17,7 тыс. м<sup>3</sup> ликвидной древесины, в том числе рубками главного пользования 14,3 тыс. м<sup>3</sup>.

Основные объемы лесозаготовок осуществляет сам лесхоз – 86,7% от общего количества заготавливаемой древесины. По главному пользованию размеры лесозаготовок распределены следующим образом: лесхозом – 89,3%, прочими лесопользователями – 10,7%.

Лесхозом не реализуется продукция на экспорт. Имеется цех по переработке древесины. В год, предшествующий лесоустройству, в цехе переработано 0,1 тыс. м<sup>3</sup> деловой древесины.



Основными видами выпускаемой продукции являются различные виды пиломатериалов.

Дровяной древесины при всех видах рубок различными лесопользователями заготовлено 7,9 тыс. м<sup>3</sup>. Местные потребности в ней удовлетворяются полностью.

Весь объем отходов, получаемых в процессе лесозаготовки и деревообработки, лесхоз реализует сторонним потребителям.

В районе расположения лесхоза имеются котельни ЖКХ, работающие на древесном топливе.

По данным лесоустройства, динамика возрастной структуры лесов характеризуется увеличением доли спелых с 8,0 до 23,0%, приспевающих с 17,9 до 31,1%, молодняков с 11,6 до 11,7%, а также уменьшением средневозрастных с 62,5 до 34,2%.

Изменение породного состава лесов характеризуется увеличением доли хвойных с 66,9 до 70,7% и уменьшением мягколиственных с 32,8 до 29,2%, твердолиственные остались без изменений, их доля составляет 0,1%.

Наблюдается увеличение доли хвойных и твердолиственных пород в составе молодняков с 9,3 до 9,7% и с 0 до 15,3% соответственно, а также уменьшение мягколиственных с 16,7 до 16,5%.

Увеличение молодняков в значительной степени отображает ход лесовосстановления не покрытых лесом земель в течение прошедшего ревизионного периода. Естественным путем возобновление идет в основном мягколиственными породами.

Динамика площадей по преобладающим породам характеризуется значительным уменьшением средневозрастных и увеличением приспевающих и спелых древостоев по всем группам пород. Увеличение обусловлено перераспределением лесного фонда лесхоза по категориям лесов согласно Лесному кодексу [1].

Такое перераспределение привело не только к накоплению спелых и перестойных насаждений, повлекшему увеличение расчетной лесосеки, но и к снижению доли молодняков в покрытой лесом площади, что в результате увеличило срок выравнивания оптимальной возрастной структуры насаждений лесного фонда [3].

Средний класс товарности приспевающих, спелых и перестойных насаждений составляет 1,3. Высший класс товарности имеют древостои сосны и ели (1,0), низший – осины (3,1) и ольхи серой (3,9).

В лесном хозяйстве, как и других отраслях экономики, важную роль играют денежные и экономические отношения, возникающие в процессе производства, реализации, потребления продукции и услуг.

В 2016 году расходы на ведение лесного хозяйства составили 739 100,0 руб., в том числе

73,9% – это производственные расходы. Расходы на 1 га лесных земель составили 72,51 руб., в то время как доходы – 74,52 руб. В результате платы за древесину в заготовленном виде от рубок главного пользования, проводимых по лесохозяйственной деятельности, было получено 69,4% лесного дохода. Плата за древесину в заготовленном виде от рубок промежуточного пользования и прочих рубок составила 24,0% от всех поступлений.

Окупаемость затрат лесохозяйственной деятельности за 2016 год составила 102,8%.

Главной целью деятельности лесхоза является сохранение и создание на закрепленной за ним территории высокопродуктивных, качественных, биологически устойчивых лесов и лесной фауны, отвечающих экологическим, социальным и экономическим потребностям общества и государства. По данным прошедшего лесоустройства выявлены положительные и отрицательные стороны ведения лесного хозяйства.

*Положительные стороны ведения лесного хозяйства*

1. Лесхоз ежегодно выполняет основные плановые задания по лесохозяйственной деятельности и лесовосстановлению.

2. Средний запас на 1 га спелых и перестойных насаждений вырос с 249 до 296 м<sup>3</sup>/га, а средний запас покрытых лесом земель с 227 до 244 м<sup>3</sup>/га.

3. Доля покрытых лесом земель в площади лесных земель увеличилась на 0,4%.

4. Проведенные лесохозяйственные мероприятия положительно повлияли на породный состав насаждений, произошло увеличение доли хвойных насаждений в покрытой лесом площади на 3,8%.

5. При выполнении санитарно-оздоровительных мероприятий значительно улучшено эстетическое и санитарное состояние насаждений.

6. Показатели оценки состояния лесного фонда и оценки эффективности ухода за лесом за предыдущий период оценены на «хорошо».

*Отрицательные стороны ведения лесного хозяйства*

1. Проект по рубкам прореживания выполнен на 59,2%.

2. Проект по рубкам обновления и реформирования выполнен на 40,0%, невыполнение проекта по этому виду рубок привело к потере товарных качеств древесины перестойных насаждений на участках лесного фонда, на которых проведение рубок главного пользования не допускается.

3. По рубкам реконструкции проект выполнен на 58,6% по площади.

4. Проект по рубкам и расчистке квартальных просек выполнен на 45,1% по площади

и 81,1% по запасу, в результате чего 254,8 км квартальных просек требуют проведения рубки и 0,7 км расчистки [4].

5. По лесовосстановительным мероприятиям проект по созданию лесных культур выполнен на 85,7%, в том числе при реконструкции малощенных насаждений на 61,2%.

6. За прошедший период лесхозом списано 9,9 га лесных культур или 6,5% от созданных.

**Заключение.** Вместе с тем для повышения эффективности подготовки будущих специали-

стов, ведения лесного хозяйства, получения дополнительных финансовых доходов Полоцкому учебно-опытному лесхозу следует разработать перспективную программу развития, в которой необходимо предусмотреть мероприятия по дальнейшей модернизации цеха переработки древесины, технического перевооружения по лесозаготовительному блоку, строительство туристического объекта для подготовки специалистов по экологическому и охотничьему туризму.

### Литература

1. Лесной кодекс Республики Беларусь: 24 дек. Минск: Амалфея, 2015. 100 с.
2. Юркевич И. Д., Гельтман В. С. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1965. 287 с.
3. Рожков Л. Н. Экологически ориентированное лесоводство. Минск: БГТУ, 2005. 182 с.
4. Справка проведения мониторинга производственной деятельности Полоцкого учебно-опытного лесхоза УО «Белорусский государственный технологический университет». Минск, 2018. 8 с.

### References

1. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus* [Forest Code of the Republic of Belarus]. December 24, Minsk: Amalfeya, 2015. 100 p.
2. Yurkevich I. D., Geltman V. S. *Geografiya, tipologiya i rayonirovaniye lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geography, typology and zoning of forest vegetation of Belorussia]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1965. 287 p.
3. Rozhkov L. N. *Ekologicheski oriyentirovannoye lesovodstvo* [Ecologically oriented forestry]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 182 p.
4. *Spravka provedeniya monitoringa proizvodstvennoy deyatel'nosti Polotskogo uchebno-opytного leskhoza UO "Belorusskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet"* [Reference of the production activity monitoring of "Polotsk scientific-experimental forestry" educational institution "Belarusian State Technological University"]. Minsk, 2018. 8 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

**Деруго Антон Дмитриевич** – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: derugoanton@gmail.com

### Information about the authors

**Yushkevich Nikolay Tarasovich** – PhD (Economics), Assistant Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ushkevichn@tut.by

**Derugo Anton Dmitrievich** – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: derugoanton@gmail.com

Поступила 26.03.2019

# ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

---

УДК 630\*363.7

**А. В. Вавилов, Е. А. Лабанов**

Белорусский национальный технический университет

## **ЭФФЕКТИВНОЕ РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАСЧИСТКИ ПОЛОСЫ ОТВОДА ДОРОГ ОТ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВА МУЛЬЧИ**

Полоса отвода дорог постоянно расчищается от древесной растительности для обеспечения видимости, а значит, безопасности движения.

Расчистка полосы отвода традиционными техническими средствами приводит к большим финансовым затратам и неиспользованию удаляемой древесной растительности.

В целях снижения затрат и использования удаляемой растительности для получения полезного продукта – мульчи в статье предложено на расчистке полосы отвода применять одноковшовый гидравлический экскаватор с легкоъемными рабочими органами: корчевателем и мульчером.

В статье рассмотрены особенности компоновки рабочих органов на экскаватор. Даны технологические решения по расчистке полос от древесно-кустарниковой растительности. Выполнена сравнительная оценка затрат на использование быстросъемного и стационарно устанавливаемого оборудования на универсальный трактор. Предложены варианты последующего использования мульчи в технических и декоративных целях. В качестве примера декоративного использования рассмотрен случай облагораживания приствольных кругов деревьев.

**Ключевые слова:** полоса отвода, древесная растительность, экскаватор, корчеватель, мульчер.

**A. V. Vavilov, E. A. Labanov**

Belarusian National Technical University

## **EFFICIENT WORKING EQUIPMENT FOR CLEARING THE RIGHT-OF-WAY FROM WOODY VEGETATION AND MULCH PRODUCTION**

The strip of roads is constantly cleared of woody vegetation to ensure visibility, and therefore traffic safety.

Clearing the right of way with traditional technical means leads to high financial costs and non-use of the removed woody vegetation.

In order to reduce costs and use of vegetation to be removed in order to obtain a useful product – mulch, the article proposed to use a single-bucket hydraulic excavator with easily removable tools: a lifter and a mulcher for clearing the right-of-way.

The article discusses the features of the layout of the working bodies on the excavator. Technological solutions for clearing the strip from trees and shrubs are given. A comparative assessment of the costs of using quick-detachable equipment and stationary equipment on a universal tractor was made. The options for the subsequent use of mulch for technical and decorative purposes. As an example of decorative use, the case of ennobling tree trunks is considered.

**Key words:** right of way, woody vegetation, excavator, uproader, mulcher.

**Введение.** Полоса отвода дорог постоянно расчищается от древесной растительности для обеспечения видимости, а значит, безопасности движения.

Расчистка полосы отвода традиционными техническими средствами приводит к большим финансовым затратам и неиспользованию удаляемой древесной растительности.

В целях снижения затрат и использования удаляемой растительности для получения полезного продукта – мульчи предлагается на расчистке полосы отвода применять одноковшовый гидравлический экскаватор с легкоъемными рабочими органами: корчевателем и мульчером.

**Основная часть.** Работы по удалению порубочных остатков, пней, кустарника и мелкоколесья

являются обязательной частью комплекса мер по содержанию и эксплуатации полос отвода автомобильных дорог, которые должны выполняться с наименьшими затратами. Наличие в полосе отвода автомобильных дорог нежелательной древесно-кустарниковой растительности отрицательно влияет на эксплуатационные показатели дороги, ухудшает ее эстетическое восприятие дороги. Зарастание полосы отвода дорог нежелательной древесно-кустарниковой растительностью снижает видимость на поворотах и перекрестках, закрывает знаки, ограждения и сигнальные столбики, что приводит к увеличению аварийности на дорогах. Корни древесных растений разрушают земляное полотно, увеличивают его водонасыщение. Зарастание кюветов и боковых канав затрудняет водоотток. Образуется застой воды, что приводит к нарушению водно-теплового режима земляного полотна и преждевременному разрушению дорожных одежд [1].

В настоящее время дорожные ремонтно-эксплуатационные организации проводят работы по удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности в основном вручную и механизированным способом, который имеет ряд недостатков.

Так, рубка деревьев и кустарников вручную трудоемка и малоэффективна. Она способствует образованию обильной пней и корневой поросли. Повторная рубка необходима уже через 2–3 года, а у некоторых пород деревьев – через год, что экономически нецелесообразно.

Удаление пней и древесно-кустарниковой растительности с помощью трактора с корчующим рабочим органом приводит к уничтожению плодородного слоя почвы и образованию валов, которые зарастают сорняками.

Параллельно следует отметить, что технология мульчирования завоевывает все большую популярность за счет своей экономической эффективности и экологической безопасности. Как известно, мульчер (лесной измельчитель, англ. mulcher) – это фрезерное оборудование,

предназначенное для измельчения древесно-кустарниковой растительности на корню посредством вращающегося барабана с расположенными на нем рабочими органами – ножами. Этот класс оборудования в нашей стране, к сожалению, малоизвестен, хотя его применение весьма эффективно. Метод мульчирования позволяет за одну операцию срезать растительность, измельчать ее, частично перемешивать щепу с почвой.

В настоящее время в Республике Беларусь уже используется технология мульчирования, но она имеет ряд недостатков. К основным недостаткам такой технологии можно отнести малую глубину фрезерования (до 10 см), что приводит к относительно быстрому возобновлению роста нежелательной растительности и, как следствие, необходимости повторного фрезерования спустя относительно малое время. Также к недостаткам рассматриваемой технологии стоит отнести быстрый износ резцов фрезерного оборудования при работе с заглублением в грунт, что, в свою очередь, увеличивает стоимость производимых работ по расчистке полос отвода дорог [2].

Более эффективной является технология расчистки полос отвода дорог от нежелательной древесной растительности, которая основана на использовании сменных рабочих органов к гидравлическому экскаватору [3–5]. При таком способе пни удаляются из почвы вместе с корневой системой с помощью быстросменного рабочего органа «корчеватель» (рис. 1), корни отряхиваются от грунта и пни складываются в кучи. Далее с помощью рабочего органа «мульчер» (рис. 2), который также является быстросменным к одноковшовому экскаватору, производится измельчение (фрезерование) складированных пней в мульчу.

Таким образом, исключается быстрое возобновление роста древесно-кустарниковой растительности, так как она удаляется вместе с корневой системой. Также мульчер позволяет измельчать кустарник и мелколесье.

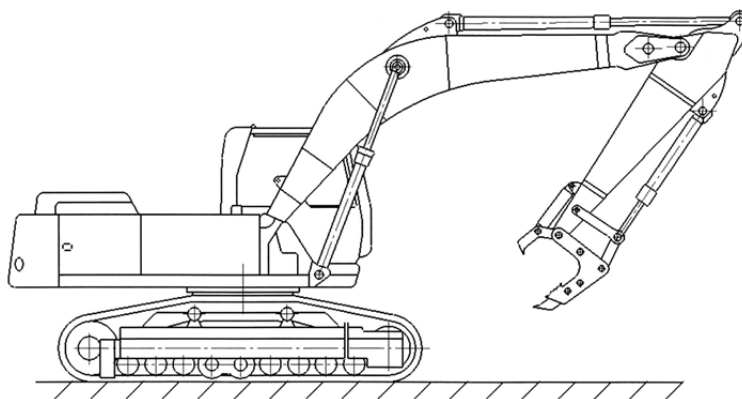


Рис. 1. Одноковшовый гидравлический экскаватор со сменным рабочим органом «корчеватель»



Рис. 2. Одноковшовый гидравлический экскаватор со сменным рабочим органом «мульчер»

Преимущества данной технологии заключаются в отсутствии необходимости погрузки выкорчеванных пней, их вывоза и утилизации так как полученная в результате фрезерования пней мульча рассыпается по поверхности земли, что также предотвращает повторное зарастание полосы отвода растительностью и сорняками. В результате меньшего контакта с почвогрунтом уменьшается износ резцов мульчера.

В дальнейшем при переработке мульчи микроорганизмами постепенно высвобождаются питательные вещества, а следовательно, повышается плодородие почвы.

В процессе исследования было подсчитано, что работы по расчистке полосы отвода дорог с применением гидравлического экскаватора с комплектом быстросменного рабоче-

го оборудования (корчевателя и мульчера) в сравнении с использованием трактора с корчующим рабочим органом и с дальнейшим вывозом выкорчеванных пней требуют на 20% затрат меньше, причем необходимое время на выполнение работ экскаватором увеличивается лишь на 5%.

Также рассматривается вариант сбора и реализации полученной мульчи, которая сегодня востребована аграрным сектором и организациями зеленостроя, например, в декоративных целях при облагораживании дворовых и парковых территорий (рис. 3). В этом случае есть возможность получения дополнительной прибыли и, соответственно, удешевления стоимости работ по расчистке площадей от древесно-кустарниковой растительности.



Рис. 3. Использование мульчи в декоративных целях

**Заключение.** Применение технологии расчистки полосы отвода дорог с использованием сменных рабочих органов к гидравлическому экскаватору позволяет снизить стоимость ра-

бот, исключить быстрое повторное зарастание, отменить ручной труд, и как итог – улучшить эксплуатационные показатели автомобильных дорог.

### Литература

1. Методические рекомендации по содержанию полосы отвода автомобильных дорог химико-механическим способом / М-во транспорта Рос. Федерации, Гос. служба дорож. хоз-ва (Росавтодор). Москва, 2003. 41 с.
2. Вавилов А. В., Моисеев А. О. Предпосылки создания мульчера для расчистки лесных площадей. Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 26–28.
3. Вавилов А. В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии: монография. Минск: Стринко, 2012. 162 с.
4. Вавилов А. В. Брикетты из возобновляемых биоэнергоисточников. Минск: Стринко, 2013. 75 с.
5. Вавилов А. В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов: монография. Минск: Жилкомиздат, 2018. 169 с.

### References

1. *Metodicheskiye rekomendatsii po sodержaniyu polosy otvoda avtomobil'nykh dorog khimiko-mekhanicheskim sposobom* [Methodical recommendations on the development of a strip of roads by a chemical-mechanical method]. Moscow, 2003. 41 p.
2. Vavilov A. V., Moiseev A. O. Prerequisites for creating a mulcher for clearing forest areas. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 26–28 (In Russian).
3. Vavilov A. V. *Pellety v Belarusi: proizvodstvo i polucheniye energii: monografiya* [Pellets in Belarus: production and generation of energy: monograph]. Minsk, Strinko Publ., 2012. 162 p.
4. Vavilov A. V. *Brikety iz vozobnovlyayemykh bioenergoistochnikov* [Briquettes from renewable bio-energy sources]. Minsk, Strinko Publ., 2013. 75 p.
5. Vavilov A. V. *TKO tsellyulozobitumsoderzhashchiye i mineral'nogo proiskhozhdeniya: polucheniye vtorichnykh produktov: monografiya* [MSW cellulose-containing bitumen and mineral origin: obtaining secondary products: monograph]. Minsk, Zhilkomizdat Publ., 2018. 169 p.

### Информация об авторах

**Вавилов Антон Владимирович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: ftkcdm@bntu.by

**Лабанов Евгений Анатольевич** – аспирант кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: ftkcdm@bntu.by

### Information about the authors

**Vavilov Anton Vladimirovich** – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department “Mechanization and Automation of the Road-Building Complex”. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ftkcdm@bntu.by

**Labanov Evgeniy Anatol'yevich** – PhD student, the Department “Mechanization and Automation of the Road-Building Complex”. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Поступила 19.02.2019

УДК 339.9:658:630

**С. А. Голякевич**

Белорусский государственный технологический университет

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ФОРВАРДЕРА КАК МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ**

В статье рассмотрены общие принципы имитационного моделирования совокупности мехатронных элементов технологического оборудования форвардера в составе металлоконструкции манипулятора, его гидравлического привода, системы управления приводом, чувствительной к нагрузке. При разработке имитационной модели была использована среда Matlab с пакетами приложений Simulink/Simscape. Модель описывает кинематику и динамику движения звеньев манипулятора Kesla 600-1, приводимого в действие гидравлической системой форвардера «Амкодор 2661-01». В статье изложены технические характеристики компонентов моделируемой мехатронной системы и диапазоны их изменения. Для каждого элемента имитационной модели приведены математические описания с указанием принятых константных значений. Данные, используемые в статье, соответствуют выполнению операции погрузки сортиментов при последовательном и параллельном движении гидроцилиндров телескопического звена, рукояти и стрелы. Рассмотрена работа привода на режиме холостого хода двигателя, при номинальной частоте вращения коленчатого вала и при ее промежуточных значениях. Моделирование выполнено с учетом динамики открытия предохранительных клапанов гидросистемы, гидрораспределителей, инерционности движения звеньев манипулятора и их демпфирующих свойств. В заключении статьи приводятся рекомендации по дальнейшему использованию имитационной модели.

**Ключевые слова:** форвардер, модель, режим, операция, манипулятор, привод, управление.

**S. A. Golyakevich**

Belarusian State Technological University

**IMITATION MODELING OF TECHNOLOGICAL FORWARDER EQUIPMENT  
AS A MECHATRONIC SYSTEM**

The article discusses the general principles of simulation modeling mechatronic elements of the technological equipment the forwarder consisting of: metal-structure of the manipulator, hydraulic drive, drive control load sensing system. When developing a simulation model, Matlab was used with Simulink/Simscape application packages. The model describes the kinematics and dynamics of the Kesla 600-1 manipulator links driven by the hydraulic system of the forwarder Amkodor 2661-01. The article describes the technical characteristics of the components of the mechatronic model being modeled and the ranges of their changes. For each element of the simulation model, mathematical descriptions are given with an indication of the adopted constant values. The data presented in the article correspond to the performance of the loading of assortments with the successive and parallel movement of the hydraulic cylinders of the telescopic link, arm and boom. Considered the operation of the drive at idle mode of the engine, at the nominal frequency of rotation of the crankshaft and at its intermediate values. The simulation, was performed taking into account the dynamics of opening of the hydraulic system safety valves, hydraulic expansion valves, inertia of movement of the manipulator links and their damping properties. The article concludes with recommendations for further use of the simulation model.

**Key words:** forwarder, model, mode, operation, manipulator, drive, control.

**Введение.** Моделирование мехатронных систем лесных машин — сложная междисциплинарная задача, охватывающая научные достижения в моделировании технологических процессов лесозаготовительного производства, работы гидравлических приводов, кинематики и динамики движения, электронного управления, программирования [1–4].

**Основная часть.** Модель привода манипулятора построена в системе имитационного математического моделирования Simulink/Sim-

scapе. В качестве исходной схемы подключения гидравлических компонентов привода использована гидравлическая схема форвардера «Амкодор 2661-01».

Исполнительными механизмами манипулятора являются гидроцилиндры подъема стрелы, рукояти, выдвигания телескопа и реечного механизма поворота. Гидроцилиндр подъема стрелы имеет рабочий диаметр гильзы 110 мм, диаметр штока 70 мм и ход поршня 688 мм. Гидроцилиндр привода телескопического звена

имеет следующие технические характеристики: диаметр гильзы 50 мм, диаметр штока 30 мм и ход поршня 2050 мм.

Гидроцилиндр рукоятки имеет диаметр гильзы 110 мм, диаметр штока 56 мм и ход поршня 790 мм.

Рабочее давление в гидросистеме создается аксиально-поршневым регулируемым насосом Sauer Danfoss FRL-074В с объемной подачей  $74 \text{ см}^3/\text{об.}$ , номинальным и максимальным рабочим давлением 31 и 40 МПа соответственно. Минимальная, номинальная и максимальная частоты вращения входного вала гидронасоса составляют соответственно 500, 2400 и 2800 об./мин. Управление подачей гидронасоса осуществляется по принципу системы, чувствительной к нагрузке (LS – Load Sensing). Гидравлический насос приводится в действие от редуктора отбора мощности с передаточным отношением 1,14, подключенного к двигателю Д-260.1 номинальной мощностью 114 кВт, достигаемой при номинальной частоте вращения коленчатого вала (2100 об./мин).

Работа гидравлической системы построена на основе математических описаний отдельных гидравлических компонентов, объединенных в единую схему с исполнительными механизмами согласно исходной гидравлической схеме.

Источник гидравлической энергии в виде аксиально-поршневого насоса математически описан величинами подводимого крутящего момента и выходного объемного расхода гидравлической жидкости с учетом механических и объемных потерь.

Объемный расход  $Q$  ( $\text{м}^3$ ) насоса вычислялся по зависимости

$$Q = Q_{\text{ideal}} + Q_{\text{leak}};$$

$$Q_{\text{ideal}} = D_{\text{sat}} \cdot \omega,$$

где  $Q_{\text{ideal}}$  – объемный расход гидравлической жидкости без учета потерь  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{leak}}$  – объемные потери гидравлической жидкости в насосе,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $D_{\text{sat}}$  – выходная величина мгновенной подачи насоса,  $\text{м}^3/\text{об.}$ ;  $\omega$  – мгновенная угловая скорость входного вала насоса, рад/с.

Крутящий момент  $\tau$  (Н·м), подводимый к насосу, определялся по зависимостям:

$$\tau = \tau_{\text{ideal}} + \tau_{\text{friction}};$$

$$\tau_{\text{ideal}} = D_{\text{sat}} \cdot \Delta p,$$

где  $\tau_{\text{ideal}}$  – требуемый крутящий момент на входном валу, Н·м;  $\tau_{\text{friction}}$  – момент внутреннего трения в насосе, Н·м;  $\Delta p$  – мгновенный перепад давления между входом и выходом из насоса, Па.

$$D_{\text{sat}} = \begin{cases} D_{\text{max}}, & D \geq D_{\text{max}}, \\ \sqrt{D^2 + D_{\text{threshold}}^2}, & D \geq 0, \\ -\sqrt{D^2 + D_{\text{threshold}}^2}, & D < 0, \end{cases}$$

где  $D_{\text{max}}$  – максимальная подача гидравлической жидкости,  $\text{м}^3/\text{об.}$  ( $74 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{об.}$ );  $D$  – мгновенное изменение подачи насоса, пропорциональное входному сигналу управления  $S_{\text{pump}}$ ,  $\text{м}^3/\text{об.}$ ;  $D_{\text{threshold}}$  – предельная минимальная подача насоса,  $\text{м}^3/\text{об.}$  ( $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{об.}$ ).

Величина объемных потерь гидравлической жидкости в насосе рассчитывалась по зависимости

$$Q_{\text{leak}} = K_{\text{HP}} \cdot \omega,$$

где  $K_{\text{HP}}$  – коэффициент Хагена – Пуазейля для ламинарных течений.

Момент внутреннего трения в насосе определялся по выражению

$$\tau_{\text{friction}} = \left( \tau_0 + K_{\text{тр}} \left| \frac{D_{\text{sat}}}{D_{\text{max}}} \right| \cdot |\Delta p| \right) \text{th} \left( \frac{4\omega}{\omega_{\text{threshold}}} \right),$$

$K_{\text{тр}}$  – коэффициент трения в элементах насоса, пропорциональный перепаду давления  $\Delta p$ , Н·м/Па ( $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ Н·м/Па}$ );  $\tau_0$  – крутящий момент, потребляемый насосом без нагрузки, Н·м ( $0,05 \text{ Н·м}$ );  $\omega_{\text{threshold}}$  – минимальная предельная угловая скорость привода насоса, рад/с ( $52 \text{ рад/с}$ ).

Коэффициент Хагена – Пуазейля для ламинарных течений определялся следующим выражением:

$$K_{\text{HP}} = \frac{\rho_{\text{nom}} \cdot \nu_{\text{nom}} \cdot \omega_{\text{nom}} D_{\text{max}}}{\rho \nu \Delta p_{\text{nom}}} (1 - \eta_v),$$

где  $\rho_{\text{nom}}$  – номинальная плотность гидравлической жидкости, для которой достигается номинальная эффективность насоса,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ( $900 \text{ кг}/\text{м}^3$ );  $\nu_{\text{nom}}$  – номинальная кинематическая вязкость гидравлической жидкости, для которой достигаются номинальные значения эффективности насоса, сСт ( $18 \text{ сСт}$ );  $\rho$  – фактическая плотность жидкости в гидросистеме,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ( $900 \text{ кг}/\text{м}^3$ );  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, в гидросистеме привода, сСт ( $18 \text{ сСт}$ );  $\omega_{\text{nom}}$  – номинальная угловая скорость вала, рад/с ( $252 \text{ рад/с}$ );  $\Delta p_{\text{nom}}$  – номинальный перепад давления насоса, при котором достигается номинальный объемный КПД, Па ( $26 \cdot 10^6 \text{ Па}$ );  $\eta_v$  – номинальный объемный КПД насоса, который достигается для указанных выше номинальных условий и принят равным 0,92.



Максимальное давление в гидравлической системе ограничивалось нормально закрытым перепускным клапаном с величиной суммарной площади утечек  $S_{\text{leak}}$  ( $1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ ). Клапан начинает открываться в момент, когда перепад давления на нем превышает установленную величину  $\Delta p_{\text{set}}$  ( $26 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ). Функция изменения площади открытия клапана  $S(\Delta p_{AB})$  принималась линейно пропорциональной перепаду давления на его входе и выходе:

$$S(\Delta p_{AB}) = S_{\text{leak}} + k(\Delta p_{AB} - \Delta p_{\text{set}}),$$

где  $S_{\text{leak}}$  – суммарная площадь утечек на клапане,  $\text{м}^2$  ( $1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ );  $\Delta p_{AB}$  – мгновенный перепад давления между входом и выходом клапана, Па;  $\Delta p_{\text{set}}$  – давление настройки клапана, ниже которого он остается закрытым, Па ( $3 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ).

Коэффициент пропорциональности  $k$  определялся по зависимости

$$k = \frac{S_{\text{max}} - S_{\text{leak}}}{\Delta p_{\text{reg}}},$$

где  $S_{\text{max}}$  – максимальная площадь открытия клапана,  $\text{м}^2$  ( $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ );  $\Delta p_{\text{reg}}$  – диапазон регулирования клапана, Па ( $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ).

Клапан становится полностью открытым в случае, когда мгновенный перепад давления  $\Delta p_{AB}$  превосходит величину  $\Delta p_{\text{max}}$  (Па):

$$\Delta p_{\text{max}} = \Delta p_{\text{set}} + \Delta p_{\text{reg}}.$$

Для поддержания заданного перепада давления и минимизации влияния давления на скорость потока гидравлической жидкости на каждой секции гидравлического распределителя устанавливался гидравлический компенсатор давления. Его математическое описание аналогично приведенному выше, с той лишь разницей, что компенсатор является постоянно открытым, а управляющий перепад задается не разницей величин давления на входе и выходе компенсатора, а разницей на входе и выходе секции распределителя. Площадь открытия  $S(\Delta p_{XY})$  компенсатора (Па) рассчитывалась по формуле

$$S(\Delta p_{XY}) = S_{\text{leak}2} - k_2(\Delta p_{XY} - \Delta p_{\text{set}2}),$$

где  $S_{\text{leak}2}$  – суммарная площадь утечек на клапане,  $\text{м}^2$  ( $1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ );  $\Delta p_{XY}$  – мгновенный перепад давления между входом и выходом клапана, Па;  $\Delta p_{\text{set}2}$  – давление настройки клапана, ниже которого он остается максимально открытым, Па ( $30 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ).

Максимальная площадь открытия клапана  $S_{\text{max}}$  для расчета коэффициента  $k_2$  принята равной  $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Привод манипулятора оборудован гидрораспределителем Sauer Danfoss PVG32 с ЕНРС type1. Гидрораспределитель состоит из шести 3-позиционных 3-поточных секций, каждая из которых имеет 1 вход для поступающей от насоса гидравлической жидкости, 2 выхода для прямой и реверсивной подачи гидравлической жидкости на исполнительный механизм, 2 выхода на слив и в магистраль управления, назначение которых меняется на противоположное при реверсировании потока. Управление секцией гидрораспределителя осуществляется по управляющему сигналу, задающему ход золотника.

Секция описана шестью дросселями переменного сечения, площадь которых увеличивается и уменьшается пропорционально величине входного управляющего сигнала. В качестве примера рассмотрим работу секции гидроцилиндра стрелы. Положительный сигнал пропускает гидравлическую жидкость по пути  $PA$ ,  $BT$  и  $AT_1$ , а также закрывает пути  $PB$  и  $PC$  (рис. 1).

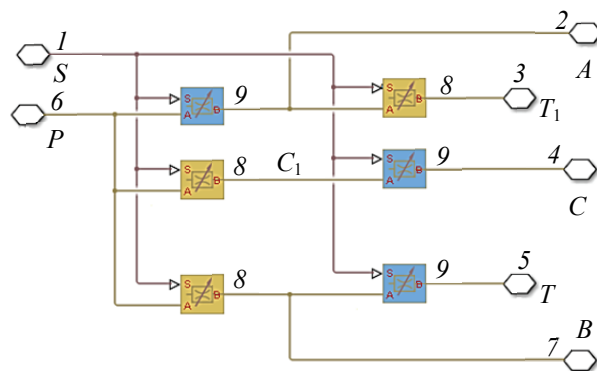


Рис. 1. Логическая схема работы секции распределителя:

1 – сигнал управления распределителем  $S$ ; 2 – выход распределителя  $A$ ; 3 – слив распределителя  $T_1$ ; 4 – выход распределителя  $C$ ; 5 – выход распределителя  $T$ ; 6 – вход распределителя  $P$ ; 7 – выход распределителя  $B$ ; 8 – регулируемый дроссель, который открывается при отрицательном сигнале управления  $S$ ; 9 – регулируемый дроссель, который открывается при положительном сигнале управления  $S$

Мгновенный расход  $\Delta q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) через дроссель определялся зависимостями:

$$\Delta q = C_D \cdot A(h) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \frac{\Delta p}{(\Delta p^2 + \Delta p_{\text{cr}}^2)^{1/4}};$$

$$h = x_0 + x \cdot \text{or};$$

$$A(h) = \begin{cases} h \cdot \frac{A_{\text{max}}}{h_{\text{max}}} + A_{\text{leak}}, & h > 0, \\ A_{\text{leak}}, & h \leq 0, \end{cases}$$

где  $C_D$  – коэффициент расхода потока (1);  $A(h)$  – мгновенная площадь проходного сечения дросселя,  $m^2$ ;  $\Delta p_{cr}$  – минимальный перепад давления через дроссель, при котором возможно образование турбулентного потока, рассчитанное по методу ламинарного перехода;  $h$  – мгновенное значение смещения элемента управления, м;  $x_0$  – величина исходного смещения элемента управления;  $x$  – величина смещения элемента управления относительно исходного положения, м;  $or$  – идентификатор дополнительного открытия (+1) или закрытия (-1) дросселя;  $A_{max}$  – максимальная площадь проходного сечения дросселя,  $m^2$  ( $8 \cdot 10^{-6} m^2$ );  $h_{max}$  – максимальное смещение элемента управления, м ( $8 \cdot 10^{-3} m$ );  $A_{leak}$  – суммарная площадь утечки при закрытом дросселе,  $m^2$ .

$$\Delta p_{cr} = \frac{\rho}{2} \left( \frac{Re \cdot v}{C_D \cdot D_H} \right)^2;$$

$$D_H = \sqrt{\frac{4A}{\pi}},$$

где  $Re$  – критическое число Рейнольдса;  $D_H$  – мгновенный диаметр гидравлического отверстия, м.

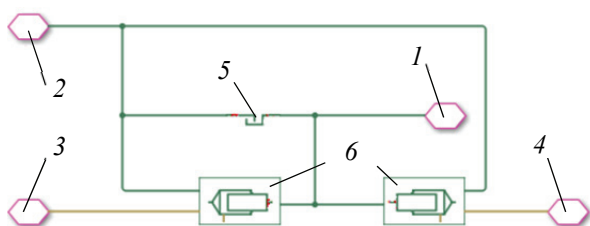


Рис. 2. Логическая схема работы гидроцилиндра двойного действия:

- 1 – выходной сигнал движения штока гидроцилиндра;
- 2 – опорная точка гидроцилиндра;
- 3, 4 – точки подключения полостей гидроцилиндров к гидравлическим магистралям;
- 5 – блок упругодемпфирующих свойств в конечных положениях гидроцилиндра; 6 – гидроцилиндры одностороннего действия (блоки преобразования энергии гидравлического потока в механическую энергию поступательного движения)

Преобразование энергии гидравлического потока в механическое поступательное перемещение штока гидроцилиндра описывалось следующими математическими зависимостями:

$$q = -\frac{d}{dt} \left( \frac{\rho}{\rho_1^{atm}} \right) V + \left( \frac{\rho}{\rho_1^{atm}} \right) \cdot \varepsilon \cdot (v_R - v_C) \cdot A;$$

$$F = \varepsilon \cdot p \cdot A;$$

$$\rho = \frac{\left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \rho_g^{atm} + \rho_l^{atm}}{\left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} + e^{-\frac{p-p_0}{\beta_1}}},$$

где  $q$  – расход гидравлической жидкости в соответствующую полость гидроцилиндра,  $m^3/c$ ;  $V$  – мгновенный объем жидкости в полости гидроцилиндра,  $m^3$ ;  $\varepsilon$  – направление движения поршня;  $v_R$  – скорость движения штока гидроцилиндра, м/с;  $v_C$  – скорость движения корпуса гидроцилиндра, м/с;  $A$  – эффективная площадь поршня,  $m^2$ ;  $F$  – усилие, развиваемое гидроцилиндром, Н;  $p$  – давление гидравлической жидкости в соответствующей полости гидроцилиндра, Па.

Таким образом в модели учтена сжимаемость жидкости. Мгновенный объем жидкости в полости гидроцилиндра определялся зависимостью

$$V = V_{dead} + A \cdot (x_0 + x),$$

где  $V_{dead}$  – объем гидравлической жидкости, заключенный под поршнем гидроцилиндра при полностью сложенном его состоянии,  $m^3$ ;  $x_0$  – начальное положение поршня, м;  $x$  – смещение поршня относительно положения  $x_0$ , м.

Скорость движения штока гидроцилиндра описывалась выражением

$$\frac{dx}{dt} = \varepsilon \cdot (v_R - v_C).$$

Движение поршней гидроцилиндров в конечных положениях ( $g_p$ , м, и  $g_n$ , м) описывалось с учетом работы упругодемпфирующих устройств (рис. 2), имеющих конечные константные величины коэффициентов жесткости  $K_p$  (Н/м) и демпфирования  $D_p$  (Н/м·с). К примеру, при достижении поршнем гидроцилиндра стрелы конечного положения, равного  $g_p = 0,688$  м, на гидроцилиндр начинает действовать упругая сила  $F_{up}$ , Н. До этого упругая сила  $F_{up}$  была равна 0:

$$F_{up} = \begin{cases} K_p (x - g_p) + D_p \cdot v, & \text{если } x \geq g_p, \\ 0, & \text{если } g_n < x < g_p, \\ K_p (x - g_n) + D_p \cdot v, & \text{если } x \leq g_n. \end{cases}$$

Скорость движения поршня гидроцилиндра в каждый момент времени определялась как первая производная координаты его перемещения  $x$  (м) по времени  $t$  (с).

Подача аксиально-поршневого реверсивного гидравлического насоса регулировалась отдельной моделью автоматизированной системы

управления, чувствительной к нагрузке. Выходным сигналом для насоса являлась величина хода управляющего гидроцилиндра сервопривода. Ввиду ограниченности объема статьи подробное описание модели управления будет предложено в отдельной публикации.

Анализ реализации энергетического потенциала форвардера рассмотрим на примере работы его манипулятора на операции погрузки сортиментов.

Подъем сортимента осуществлялся с уровня, расположенного на 0,3 м ниже опорной поверхности форвардера «Амкодор 2662-01» (1,7 м ниже горизонтального уровня опоры колонны манипулятора). Вылет манипулятора соответствовал кинематически максимальному. Продольная координата точки захвата сортимента относительно вертикальной оси манипулятора составляла 7,55 м. Иные технические характеристики манипулятора Kesla Foresteri 600-1 приведены в таблице.

Скорость поднимания сортиментов регулировалась за счет изменения проходного сечения золотника от 2 мм<sup>2</sup> до 22 с шагом 2 мм<sup>2</sup>.

#### Технические характеристики манипулятора Kesla Foresteri 600-1

Характеристика	Величина
Вылет стрелы, м	8,2
Грузоподъемность на максимальном вылете, кг	540
Грузовой момент, кН·м	80
Угол поворота манипулятора, град	380
Масса манипулятора без масла, захвата и ротатора, кг	1425
Масса ротатора	56
Масса захвата, кг	168
Диаметр охвата, мм	75–600
Площадь охвата, м <sup>2</sup>	0,28

Следует отметить значительную долю непродуктивных затрат энергии в общих энергозатратах работы манипуляторов [5–10].

Так, при минимальной скорости подъема затраты на подъем самого манипулятора (68,1 кДж рис. 3 поз.1) составляют более половины (56%) энергозатрат на подъем сортимента максимальной массы (121,5 кДж рис. 3 поз. 6). При максимальной скорости подъема данное соотношение увеличивается и составляет 75% (106,8 и 143,3 кДж соответственно).

Увеличение скорости подъема сортиментов приводит к непропорциональному росту затрат энергии, вызванных работой сил инерции. Так, при уменьшении времени подъема манипулятора с 16,27 до 8,63 с (на 53%) прирост энерге-

тических затрат составляет 6,36 кДж (9,3%). Дальнейшее уменьшение времени подъема приводит к более значительному росту энергозатрат: 49,5% прироста по времени (с 8,63 до 4,27 с) соответствует приросту затрат энергии на 19,7% (на 14,68 кДж). Последующий анализ графиков рис. 3 с использованием критерия энергетического потенциала производительности (ЭПП) показал, что использование в качестве критерия оценки исключительно величины ЭПП не дает однозначного ответа о рациональности того или иного режима выполнения операции, так как функция ЭПП не имеет экстремума. Окончательное решение о рациональности режима работы может быть получено только при использовании дополнительного анализа [11] способов выполнения операций и их последовательности для каждого исполнительного механизма манипулятора, когнитивных способностей операторов, усталостной долговечности конструкции и характеристик автоматизированных систем управления [12–14], имеющих собственные диапазоны эффективной эксплуатации.

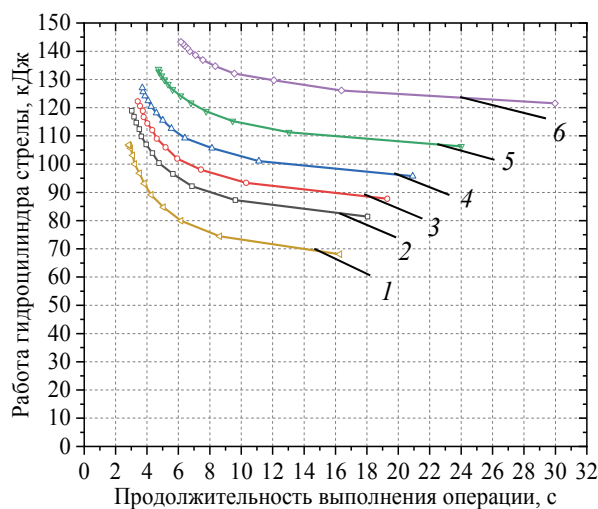


Рис. 3. Энергетическая оценка режима работы манипулятора при длине сортиментов 6 м и их диаметре (массе):

1 – порожний манипулятор; 2 – 0,25 м (230 кг);  
3 – 0,3 м (330 кг), 4 – 0,35 м (450 кг);  
5 – 0,4 м (588 кг); 6 – 0,45 м (744 кг)

**Заключение.** На основе рассмотрения манипулятора форвардера как мехатронной системы получена его имитационная модель, учитывающая параметры гидропривода манипулятора, кинематику и динамику его конструкции, особенности управления и др.

Имитационная модель учитывает сжимаемость гидравлической жидкости, логику работы распределительных устройств, параметры жесткости и демпфирования гидроцилиндров в

конечных положениях, работу предохранительных клапанов и др.

Установлены энергозатраты на исполнительных механизмах манипулятора и проведен их анализ. Получены нелинейные зависимости времени подъема манипулятора и роста энергозатрат на его привод. Отмечено, что оконча-

тельное решение о рациональности режима работы манипулятора может быть получено только при использовании дополнительного анализа, который среди прочего должен основываться на изучении прочности металлоконструкции, особенностей операторов и логики систем автоматизированного управления [15–18].

### Литература

1. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 18–20.
2. Голякевич С. А. Повышение надежности конструкций многооперационных лесных машин выбором режимов работы на основе энергетического потенциала: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2013. 27 с.
3. Golyakevich S., Goronovsky A. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle // Transport. 2013. Issue 28 (3). P. 323–330.
4. Голякевич С. А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 72–78.
5. 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.
6. Гинзбург Ю. В., Швед А. И., Парфенов А. П. Промышленные тракторы. М.: Машиностроение. 296 с.
7. Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Эффективность работы многооперационных лесозаготовительных машин с учетом ограничивающих факторов // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 8–11.
8. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01. Л., 1987. 315 с.
9. Голякевич С. А. Комплексная техническая оценка потребительских качеств лесных машин // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 67–71.
10. Golyakevich S. A., Goronovsky A. R. Evaluation of Loading Dynamics of Fatigue Life for a Forwarder Half-Frame Articulation // Journal of Machinery Manufacture and Reability. 2017. No. 5. P. 463–471.
11. Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П. Методика оценки технических характеристик форвардеров на стадии проектирования // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 15–19.
12. Drive and Control Systems for Forestry Machines. URL: [http://www.boschrexroth.com/country\\_units/america/united\\_states/sub\\_websites/brus\\_brh\\_m/en/Documentation\\_and\\_Resources/9\\_brochures\\_and\\_catalogs/a\\_downloads/re98057.pdf](http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_m/en/Documentation_and_Resources/9_brochures_and_catalogs/a_downloads/re98057.pdf) (date of access: 14.05.2012).
13. Heinze A. Modelling, simulation and control of a hydraulic crane: submitted for the Degree of Master of Science in Automotive Mechatronics. Växjö, 2007. 135 p.
14. Lögren B. Kinematic Control of Redundant Knuckle Booms with Automatic Path Following Functions // Department of Machine Design Royal Institute of Technology. 2009 [Electronic resource]. URL: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:277303> (date of access: 18.05.2012).
15. Wang J., Greene W. An Interactive Simulation System for Modeling Stands, Harvests, and Machines // Journal of Forest Engineering. 1999. Vol. 10, no. 1. P. 81–99.
16. Hesse K. Components and systems for tractor, stacker and combine // Bosch Rexroth Mobile Training. 2003, February. P. 18–20.
17. Drive and Control Systems for Combine Harvesters and Forage Harvesters. Bosch Rexroth AG. 2001. RE 98071.
18. Load Sensing Systems. Principle of Operation. Eaton Corporation, 1992. 28 p.

### 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. *Povysheniye 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.

3. Golyakevich S., Goronovsky A. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle. *Transport*, 2013, issue 28 (3), pp. 323–330.
4. 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).
5. 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.
6. Ginzburg Yu. V., Shved A. I., Parfenov A. P. *Promyshlennyye traktory* [Industrial tractors]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1986. 296 p.
7. Golyakevich S. A., Goronovsky 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).
8. Zhukov A. V. *Teoreticheskiye osnovy vybora tekhnicheskikh parametrov i uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv spetsial'nykh lesnykh mashin. Dis. dokt. tekhn. nauk* [Theoretical bases of a choice of technical parameters and improvement of operational properties of special forest machines. Doct. Diss.]. Leningrad, 1987. 315 p.
9. Golyakevich S. A. Comprehensive technical assessment of consumer qualities of forest machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 67–71 (In Russian).
10. Golyakevich S. A., Goronovsky A. R. Evaluation of Loading Dynamics of Fatigue Life for a Forwarder Half-Frame Articulation. *Journal of Machinery Manufacture and Reability*, 2017, no. 5, pp. 463–471.
11. Golyakevich S. A., Goronovsky A. R., Mokhov S. P. Methods for assessing the technical characteristics of forwarders at the design stage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 15–19 (In Russian).
12. Drive and Control Systems for Forestry Machines. Available at: [http://www.boschrexroth.com/country\\_units/america/united\\_states/sub\\_websites/brus\\_brh\\_m/en/Documentation\\_and\\_Resources/9\\_brochures\\_and\\_catalogs/a\\_downloads/re98057.pdf](http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_m/en/Documentation_and_Resources/9_brochures_and_catalogs/a_downloads/re98057.pdf) (accessed 14.05.2012).
13. Heinze A. Modelling, simulation and control of a hydraulic crane: submitted for the Degree of Master of Science in Automotive Mechatronics. Växjö, 2007. 135 p.
14. Lögren B. Kinematic Control of Redundant Knuckle Booms with Automatic Path Following Functions. Available at: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:277303> (accessed 18.05.2012).
15. Wang J., Green W. An Interactive Simulation System for Modeling Stands, Harvests, and Machines. *Journal of Forest Engineering*, 1999, vol. 10, no. 1, pp. 81–99.
16. Hesse K. Components and systems for tractor, stacker and combine. *Bosch Rexroth Mobile Training*, 2003, February, pp. 18–20.
17. Drive and Control Systems for Combine Harvesters and Forage Harvesters. Bosch Rexroth AG. 2001. RE 98071.
18. Load Sensing Systems. Principle of Operation. Eaton Corporation, 1992. 28 p.

#### **Информация об авторе**

**Голякевич Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Сverdlova, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

#### **Information about the author**

**Golyakevich Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate 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 11.03.2019*

УДК 630\*31

**С. Е. Арико, Д. А. Кононович, С. П. Мохов**

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

В статье рассмотрен анализ эффективности применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов в зависимости от различных природно-производственных условий. При определении эффективности комплекса машин рассматривались технологии очистки лесосек без сохранения подроста после бензиномоторных пил, без сохранения подроста с применением харвестера и с сохранением подроста с применением харвестера. С использованием разработанной методики на основании проведенных исследований и испытаний получены зависимости изменения производительности комплекса машин от породного состава, ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы, ширины захвата оборудования, максимального вылета манипулятора, устанавливаемого на машину для транспортировки лесосечных отходов, степени уплотнения лесосечных отходов, а также среднего расстояния трелевки. В качестве наиболее типичных насаждений рассматривались широко встречающиеся в условиях Республики Беларусь с учетом преобладающих пород. Проведены исследования по изучению влияния класса тяги базового шасси на производительность машины для сбора лесосечных отходов. При проведении исследований учитывается вид рассматриваемых шасси. Они являются полноприводными, что позволяет им полностью реализовывать свои тяговые свойства.

**Ключевые слова:** технология, комплекс машин, ликвидный запас, породный состав, гидроманипулятор, трелевка, уплотнение, технологическое оборудование.

**S. Ye. Ariko, D. A. Kononovich, S. P. Mokhov**

Belarusian State Technological University

**RESULTS OF ANALYSIS OF THE EFFICIENCY  
OF APPLICATION COMPLEX MACHINES  
FOR COLLECTION AND TRANSPORTATION FOREST RESIDUES**

The article considers the analysis of the effectiveness of the use of a complex of machines for collecting and transporting logging waste, depending on various environmental and production conditions. In determining the effectiveness of the complex of machines, technologies for clearing cutting areas without preserving after gas saws, without preserving under harvesting using a harvester and preserving undergrowth using a harvester were considered. Using the developed methodology on the basis of the research and testing, the dependences of changes in the performance of the machine complex depending on the breed composition, width of the strip being cleaned from logging waste, width of equipment capture, maximum reach of the manipulator mounted on the machine for transporting logging waste, degree of compaction of logging waste as well as the average distance skidding. The most typical plantations were considered widely found in the conditions of the Republic of Belarus, taking into account the prevailing species. Studies have been conducted to study the effect of the basic chassis thrust class on the performance of the machine for collecting logging waste. When conducting research, the type of chassis under consideration is taken into account. They are all-wheel drive, which allows them to fully realize their traction properties.

**Key words:** technology, complex of machines, liquid stock, breed composition, hydromanipulator, skidding, sealing, technological equipment.

**Введение.** В настоящее время на лесозаготовительных предприятиях республики существует проблема очистки лесосек от лесосечных отходов после завершения заготовки древесины. Для реализации поставленной задачи разработаны опытные образцы машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Эффективность их применения в составе комплекса зависит от ряда природно-производственных факторов.

При этом основным оценочным параметром, позволяющим оценить эффективность работы каждой из машин в отдельности, является их производительность [1–4]. Особенность оценки работы машин в составе комплекса заключается в том, что сменную производительность комплекса необходимо оценивать в плотных метрах кубических, при этом общепринятым является определение производительности машин для

сбора лесосечных отходов в гектарах, а машин для транспортировки лесосечных отходов – в метрах кубических. В связи с этим по разработанной методике для наиболее распространенных условий эксплуатации данных машин произведены исследования по определению эффективности применения комплекса машин на основе сопоставления их производительностей, приведенным к плотным метрам кубическим лесосечных отходов, по следующим технологиям очистки лесосек:

- технология очистки лесосек после проведения сплошных рубок бензиномоторными пилами;
- технология очистки лесосек после сплошных рубок без сохранения подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины;

- технология очистки лесосек после сплошных рубок с сохранением подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины.

Данный подход является оптимальным ввиду возможности применения полученных результатов как для повышения эффективности работы комплекса машин, так и для определения потенциального объема лесосечных отходов.

**Основная часть.** В случае применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов при *разработке лесосек без сохранения подроста бензиномоторными пилами* с заготовкой сортиментов на пасеке лесосечные отходы собираются в валы подборщиком. Далее технологический процесс включает их транспортировку на промежуточный склад. При этом машина для сбора лесосечных отходов может двигаться челночно, чередуя рабочих и холостой ходы.

В соответствии с разработанной методикой на основании данных проведенных исследований и испытаний получены зависимости изменения сменной производительности машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов от следующих параметров: породного состава, ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы, ширины захвата оборудования для сбора лесосечных отходов, максимального вылета устанавливаемого на машину для транспортировки лесосечных отходов гидроманипулятора, степени уплотнения лесосечных отходов, расположенных на транспортировщике лесосечных отходов, среднего расстояния трелевки [5, 6].

В качестве наиболее типичных насаждений рассматривались насаждения: 6СЗБ1Е, которые широко встречаются в условиях Республики Беларусь с учетом преобладающих пород, 9С1Б – типичные хвойные насаждения, 5СЗЕ2Б – типичные смешанные насаждения (рис. 1).

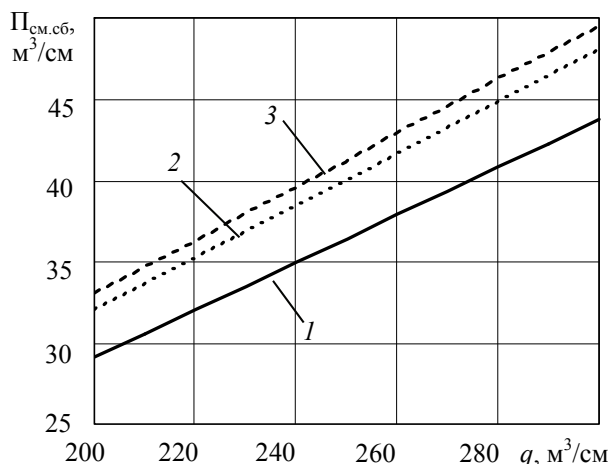


Рис. 1. Изменение сменной производительности машины для сбора лесосечных отходов от породного состава после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – 6СЗБ1Е; 2 – 9С1Б; 3 – 5СЗЕ2Б

Рассматривая эксплуатацию машины для транспортировки лесосечных отходов, учитывалось, что за счет применения гидроуправляемых бортов происходит уплотнение лесосечных отходов в 1,5 раза. При этом характер изменения производительности от породного состава и ликвидного запаса древесины имеет аналогичный характер. Так, при эксплуатации в насаждениях с породным составом 5СЗЕ2Б по сравнению с составом насаждений 6СЗБ1Е происходит увеличение производительности (рис. 2), однако она не так существенна и составляет 0,5–0,8% в зависимости от ликвидного запаса древесины. Это в первую очередь связано с тем, что производительность данной машины в большей степени зависит от технологии проведения рубок и организационных факторов, которые будут рассматриваться ниже.

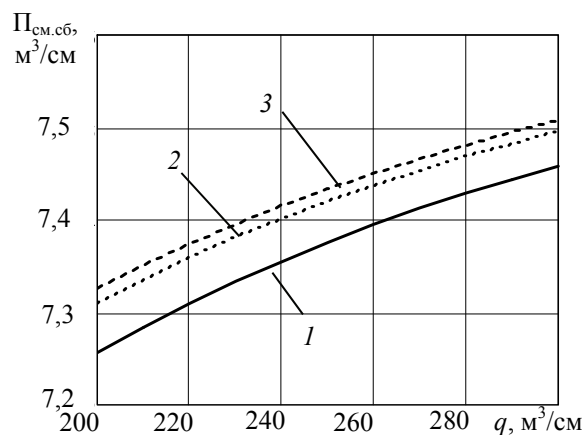


Рис. 2. Изменение сменной производительности машины для транспортировки лесосечных отходов от породного состава после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – 6СЗБ1Е; 2 – 9С1Б; 3 – 5СЗЕ2Б

Так, при сборе сучьев с пасек шириной от 15 до 30 м производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов возрастет на 11 и 5% соответственно. Для большей степени концентрации лесосечных отходов валы отходов могут формироваться через пасечный волок, т. е. один вал с двух пасек. При этом ширина очищаемой полосы будет соответствовать удвоенной ширине пасеки, что в рассмотренном случае составит 30 и 60 м соответственно, при этом производительность машины для сбора лесосечных отходов возрастет на 6%, а для транспортировки – на 3%.

Зависимости изменения производительностей рассматриваемых машин от ширины оборудования для сбора лесосечных отходов при выполнении технологических операций в насаждениях с породным составом 6СЗБ1Е и ликвидным запасом 267 м<sup>3</sup>/га, что соответствует запасу в спелых насаждениях, представлены на рис. 3. Полученные зависимости указывают на тот факт, что за счет увеличения ширины технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов достигается увеличение производительности, причем имеет место прямая пропорциональная зависимость.

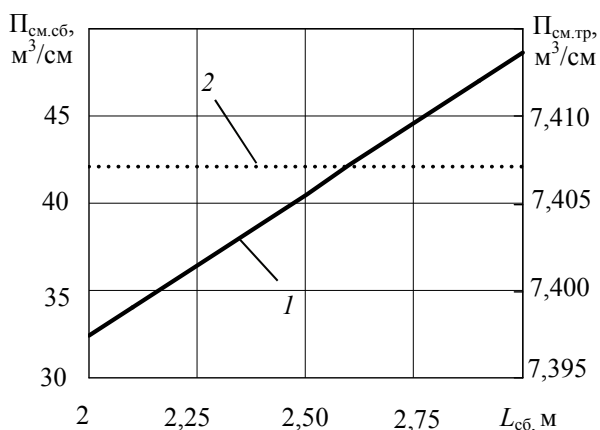


Рис. 3. Влияние ширины оборудования для сбора лесосечных отходов на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – машина для сбора лесосечных отходов; 2 – машина для транспортировки лесосечных отходов

Так, увеличение ширины технологического оборудования с 2 до 3 м приводит к увеличению производительности в полтора раза (с 32,4 до 48,6 м<sup>3</sup>/см). Следует отметить, что производительность машины для транспортировки лесосечных отходов при этом практически не изменяется, так как в данном случае концентрация лесосечных отходов и длина вала остаются неизменными, а лишь сокращаются затраты времени на выполнение данных операций.

К параметрам, не влияющим на производительность машины для сбора лесосечных отходов, относятся вылет гидроманипулятора (рис. 4) машины для транспортировки лесосечных отходов, степень их уплотнения подвижными бортами, а также среднее расстояние трелевки. Это обусловлено тем, что сбор лесосечных отходов в валы осуществляется последовательно по всей площади, при этом данная операция выполняется до начала работ по транспортировке.

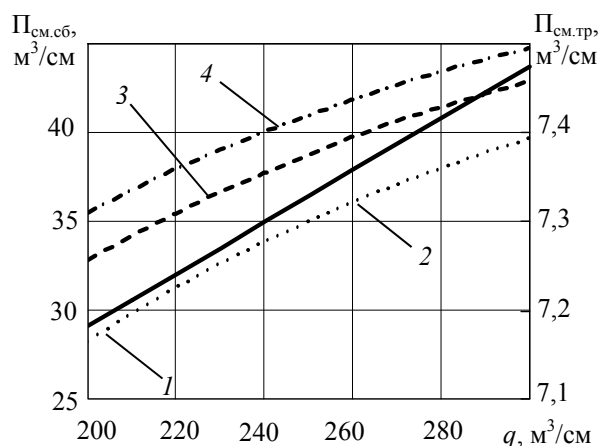


Рис. 4. Влияние вылета гидроманипулятора на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – машина для сбора лесосечных отходов; 2 – 5,55 м; 3 – 6,5 м; 4 – 7,2 м

При исследовании влияния вылета гидроманипулятора на производительность комплекса рассматривалась возможность установки на погрузочно-транспортных машинах гидроманипуляторов с вылетом 5,55 м (ГМ-42), 6,5–6,7 м (PALMS 665 и PRIMERO 3967) и 7,2 м (ГМ-50) [35]. Установлено (рис. 5), что наиболее эффективным является применение гидроманипулятора ГМ-50, так как в данном случае в зависимости от ликвидного запаса древесины обеспечивается увеличение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 1,3–2% по сравнению с гидроманипулятором ГМ-42.

Более существенным фактором, оказывающим влияние на эффективность применения машины для транспортировки лесосечных отходов является степень их уплотнения подвижными бортами. При исследовании рассматривались три случая:

- транспортировка отходов с закрытыми бортами без уплотнения;
- транспортировка отходов с закрытием бортов после наполнения грузовой платформы



(степень уплотнения 1,2). Данный вариант применяется в случае значительной концентрации лесосечных отходов, обеспечивающих наполнение платформы с одной технологической стоянки;

– транспортировка отходов со степенью уплотнения 1,75, что соответствует случаю наполнения платформы с 6–8 технологических стоянок.

Более высоких показателей степени уплотнения (до 3) можно достигнуть за счет дополнительного закрытия и открытия бортов на каждой стоянке, однако при этом увеличивается время технологического цикла, а также усложняется процесс разгрузки, либо при достаточно низкой концентрации лесосечных отходов, когда количество переездов может достигать 15 и более (транспортировка лесосечных отходов осуществляется без их предварительного сбора в валы). Наиболее типичным является изменение степени уплотнения в диапазоне 1,5–1,75 (в рассмотренных ранее и ниже исследованиях принимался коэффициент уплотнения 1,5).

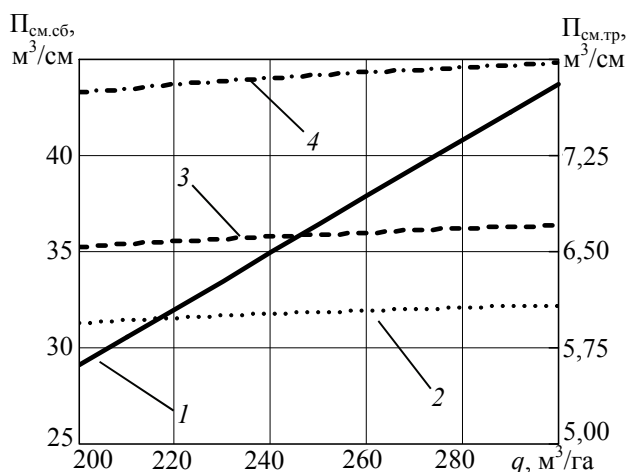


Рис. 5. Влияние степени уплотнения лесосечных отходов на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами:

- 1 – машина для сбора лесосечных отходов;  
2 – без уплотнения; 3 – с уплотнением в 1,2 раза;  
4 – с уплотнением в 1,75 раза

Представленные на рис. 5 результаты исследований свидетельствуют о том, что при уплотнении лесосечных отходов в 1,2 раза обеспечивается увеличение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 10%, в 1,75 раза – на 30%. Это свидетельствует о существенной эффективности применения предложенной конструкции машины для транспортировки лесосечных отходов.

Следует отметить, что еще одним фактором, оказываемым существенное влияние на производительность транспортировки лесосечных отходов с лесосеки на погрузочный пункт, является среднее расстояние трелевки. Учитывая, что машина для транспортировки лесосечных отходов движется по трелевочным волокам, по которым осуществляется трелевка (подвоз) сортиментов погрузочно-транспортными машинами, то среднее расстояние трелевки для данных машин будет определяться так же, как для форвардера. Для наглядного представления результатов исследований нами рассматривались случаи транспортировки отходов на расстояния 150, 300 и 500 м (рис. 6).

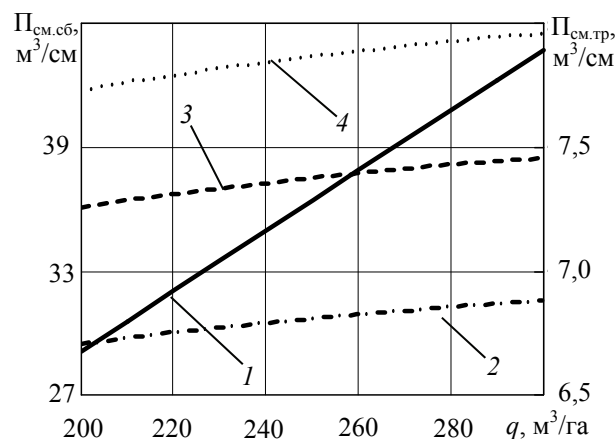


Рис. 6. Влияние среднего расстояния трелевки на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами:

- 1 – машина для сбора лесосечных отходов;  
2 – 500 м; 3 – 300 м; 4 – 150 м

Исследования подтвердили общие тенденции в необходимости снижения среднего расстояния трелевки для повышения эффективности применения машин для транспортировки различного вида лесоматериалов. Так, в данном случае снижение расстояния трелевки с 300 до 150 м обеспечивает увеличение производительности на 6,5–6,7%. В случае же снижения расстояния трелевки с 500 до 150 м производительность может увеличиться в 1,15–1,16 раза.

Машина для сбора лесосечных отходов при проведении сплошных рубок без сохранения подроста с применением механизированного сортиментного метода заготовки древесины на основе системы валочно-сучкорезно-раскряжевой (харвестер) и погрузочно-транспортной (форвардер) машин может осуществлять увеличение формируемого

вала за счет перемещения одного или двух соседних валов. При этом в образующемся валу объем лесосечных отходов увеличится в 2–3 раза. Сопоставляя результаты полученных исследований по данной и рассмотренным ранее технологиям, следует отметить, что характер кривых, отражающих зависимость производительности от породного состава не изменился [7, 8].

Что касается полученных значений, то, несмотря на работу машины для сбора лесосечных отходов после системы «валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (харвестер) – погрузочно-транспортная машина (форвардер)», ее производительность увеличивается в 1,94 раза, а не отличается на порядок, как это было при работе по технологии с сохранением подроста. При этом наблюдается снижение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 1,9–3,2%.

Сравнивая результаты работы комплекса машин при организации транспортировки лесосечных отходов из вала, сформированного из отходов с двух или трех соседних пасек, установлено, что более эффективным является последний, так как в данном случае эксплуатационные затраты на очистку лесосеки являются аналогичными, а производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов увеличивается в 1,5 и 1,01–1,02 раза соответственно.

В результате исследований установлено, что аналогично работе по технологии с применением бензиномоторных пил для получения сортиментов в рассматриваемом случае такие параметры как ширина технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов и вылет гидроманипулятора машины для транспортировки лесосечных отходов, оказывают влияние на производительность лишь тех машин, на которых они установлены. При этом увеличение ширины обрабатываемой полосы с 2 до 3 м позволяет увеличить производительность на операции по формированию вала лесосечных отходов в 1,5 раза. Установка же гидроманипулятора ГМ-50 вместо ГМ-42 обеспечивает увеличение производительности при транспортировке лесосечных отходов на 0,9–1,2%.

К параметрам, которые не оказывают влияния на производительность машины для сбора лесосечных отходов и, наоборот, являются одними из определяющих при установлении производительности машины для транспортировки отходов, относятся степень их уплотнения подвижными бортами (рис. 7) и среднее расстояние трелевки.

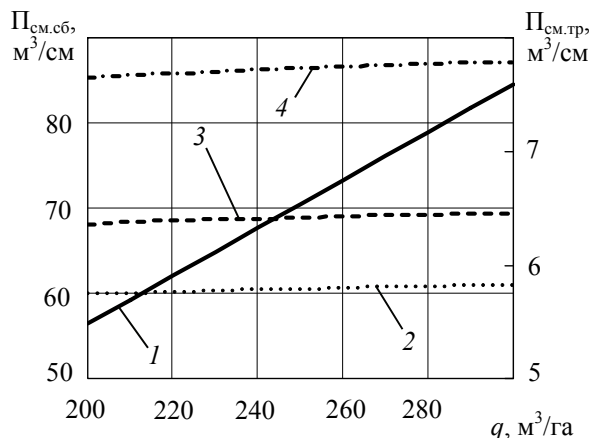


Рис. 7. Влияние степени уплотнения лесосечных отходов на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины харвестером без сохранения подроста:  
1 – машина для сбора лесосечных отходов;  
2 – без уплотнения, 3 – с уплотнением в 1,2 раза,  
4 – с уплотнением в 1,75 раза

В случае уплотнения отходов в 1,2 раза обеспечивается увеличение производительности при транспортировке лесосечных отходов на 10,7–10,9%, а при уплотнении в 1,75 раза – на 33,1–33,7%.

При снижении среднего расстояния трелевки (рис. 8) с 500 до 300 м достигается увеличение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 11,2–11,4%, а при уменьшении до 150 м – на 21,5–22,9%.

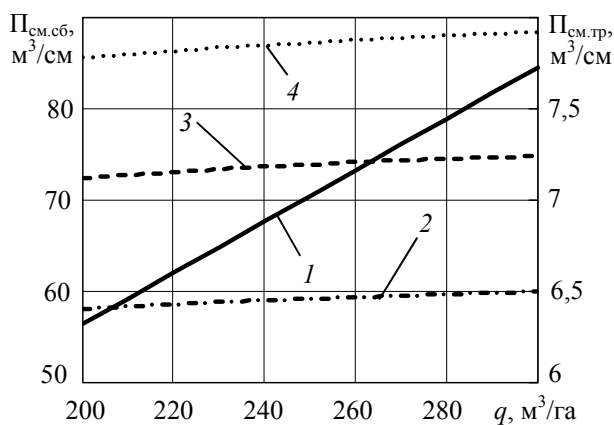


Рис. 8. Влияние среднего расстояния трелевки на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов после применения технологии заготовки древесины харвестером без сохранения подроста:  
1 – машина для сбора лесосечных отходов;  
2 – 500 м; 3 – 300 м; 4 – 150 м

Технология сбора лесосечных отходов с сохранением подроста имеет отличительную особенность. Отходы собираются не в валы по-

перечными движениями, как в технологии без сохранения подроста, а в кучи, расположенные рядом с волоком на полосе шириной до 2 м параллельными волоку ходами трактора. Количество формируемых куч вдоль одного волока зависит, в первую очередь, от таксационных показателей лесосеки (породный состав, запас древесины на 1 га и пр.) и ширины пасаки [9, 10].

Аналогично рассмотренному выше примеру были проведены исследования влияния ряда факторов на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Сравнивая полученные результаты следует отметить, что в целом характер зависимостей остался прежним, однако при этом за счет применения технологии заготовки сортиментов на основе системы машин «харвестер – погрузочно-транспортная машина (форвардер)» вместо «бензиномоторная пила – погрузочно-транспортная машина (форвардер)» обеспечивается дополнительное увеличение производительности машины для сбора лесосечных отходов в 9,1–11,3 раза при породном составе 5С3Е2Б и в 8,4–10,6 раза – при составе 6С3Б1Е. Причем прирост производительности увеличивается со снижением ликвидного запаса древесины и в рассматриваемом случае является максимальным при запасе 200 м<sup>3</sup>/га. Это обусловлено тем, что концентрация лесосечных отходов в валах снижается, а соотношение между рабочим и холостым ходом возрастает. И наоборот, при увеличении ликвидного запаса концентрация лесосечных отходов в валах увеличивается и расстояние между кучами снижается, так как оно ограничивается тягово-сцепными свойствами машины, при этом отношение расстояния рабочего хода к холостому уменьшается. В свою очередь производительность машины для транспортировки лесосечных отходов существенно не изменяется [11–14].

При рассмотрении технологического процесса комплекса машин после работы харвестера с односторонней укладкой сортиментов, а соответственно и лесосечных отходов было установлено (рис. 9), что производительность машины для сбора лесосечных отходов с увеличением ширины пасаки также увеличивается. Причем характер зависимости аналогичен рассмотренному, при этом величина производительности на порядок выше. Увеличение ширины лесосеки с 15 до 20 м позволяет увеличить производительность машины на 14,4%, а с 15 до 25 м – на 25,3%.

Особенностью работы харвестера является возможность двухсторонней укладки сортиментов, при этом лесосечные отходы располагаются по обе стороны от трелевочного волока, что при прочих равных условиях снижает кон-

центрацию отходов в валах и приводит к необходимости формирования куч за счет прохождения машины для сбора лесосечных отходов дважды вдоль одного трелевочного волока, что в конечном итоге снижает производительность данной машины в 1,38–1,51 раза, а также ведет к незначительному снижению эффективности машины для транспортировки лесосечных отходов (0,4–0,7%) [15].

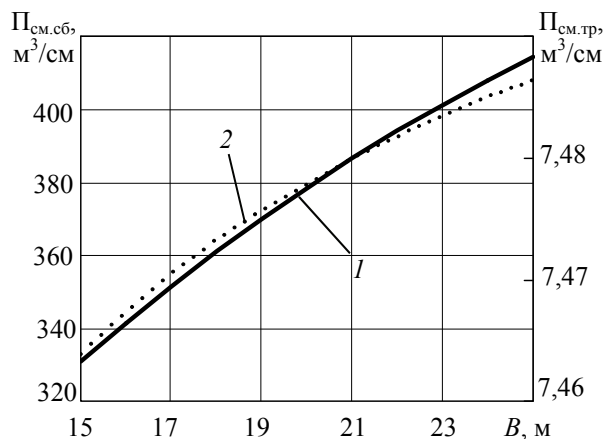


Рис. 9. Влияние ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины харвестером с сохранением подроста:  
1 – машина для сбора лесосечных отходов;  
2 – машина для транспортировки лесосечных отходов

В результате исследования влияния ширины технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов на производительность машин, входящих в состав комплекса, было установлено, что данный параметр, хоть и является одним из основных, не влияет на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Это связано с тем, что формирование куч осуществляется за один проход технологического оборудования и при этом ширина образующейся кучи не превышает ширину технологического оборудования, минимальное значение которой составляет в расчетных исследованиях 2 м, а в реальных условиях эксплуатации более 2,4 м и соответствует ширине базового шасси.

Исследованиями (рис. 10) было установлено, что при данной технологии сбора лесосечных отходов вылет гидроманипулятора машины для их транспортировки не оказывает влияния на эффективность применения комплекса, так как кривые изменения производительностей машины для транспортировки отходов при условии установки гидроманипуляторов с различными вылетами наложились друг на друга.

Это связано с тем, что фактором, который определяет расстояние между технологическими стоянками, является уже не зона досягаемости гидроманипулятора, а расстояние между кучами лесосечных отходов, которое больше вылета гидроманипулятора.

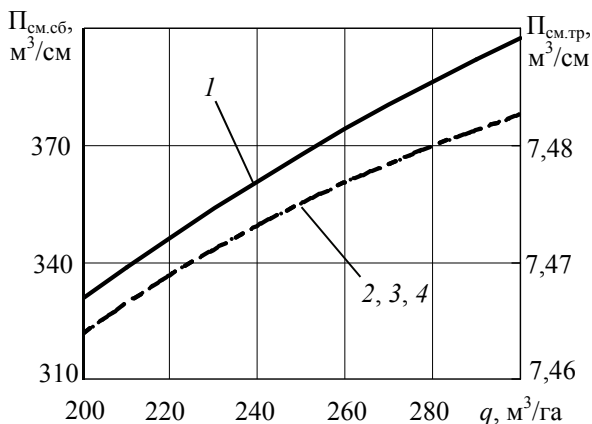


Рис. 10. Влияние вылета гидроманипулятора и ликвидного запаса на производительность машин для сбора (1) и транспортировки лесосечных отходов после применения технологий заготовки древесины харвестером с сохранением подроста: 2 – 5,55 м; 3 – 6,5 м; 4 – 7,2 м

Особый интерес вызывают исследования, посвященные изучению влияния класса тяги базового шасси на производительность комплекса (рис. 11). При проведении расчетов учитывалось, что рассматриваемые шасси являются полноприводными.

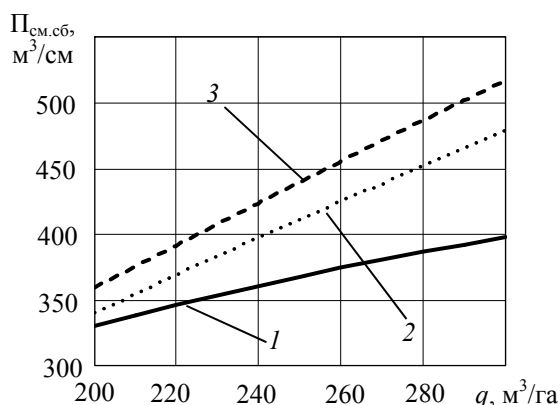


Рис. 11. Влияние тягового класса базового шасси машины для сбора лесосечных отходов на ее производительность: 1, 2, 3, – тяговый класс 1,4, 2,0, 3,0 соответственно

Установлено, что применение базового шасси более высокого класса тяги позволяет увеличить производительность машины при осуществлении формирования куч лесосечных отходов до 20,3 и 30,1% при эксплуатации шасси тяговых классов соответственно 2,0 и 3,0

вместо 1,4, который рассматривается как базовый. Это связано с возможностью реализации большего рабочего хода по отношению к холостому. При этом применение данных шасси в качестве базовых также увеличивает производительность машины для их транспортировки.

В соответствии с полученными зависимостями установлено, что применение в качестве базового шасси классов 2,0 и 3,0 для машины, осуществляющей сбор лесосечных отходов, способствует увеличению производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 2,6–2,8 и 4,0–4,2% соответственно. Это обеспечивается за счет снижения количества переездов и повышения концентрации отходов, так как снижаются затраты времени на открытие/закрытие бортов и опускание/подъем аутригеров.

**Заключение.** На основе проведенных исследований установлено, что эффективность применения машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов в составе комплекса зависит от различных факторов, которые, в свою очередь, взаимосвязаны с технологиями и системами машин, применяемыми на сплошных рубках леса.

Анализируя полученные данные, следует сделать вывод, что на производительность комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов существенное влияние оказывают параметры, относящиеся к технологическим особенностям выполнения лесозаготовительных работ. Так, на производительность машины для сбора лесосечных отходов наиболее существенное влияние оказывает технология работы на заготовке древесного сырья. При этом применение данной машины после харвестера, осуществляющего заготовку сортиментов при односторонней их укладке, увеличивает производительность машины для сбора лесосечных отходов на порядок. Дополнительное увеличение производительности достигается за счет использования машины более высокого тягового класса.

При увеличении ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы, которая кратна ширине пасаки, достигается увеличение производительности машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов до 36,7 и 8,1% соответственно. Следует отметить, что среди технических факторов на производительность комплекса машин наибольшее влияние оказывают ширина захвата оборудования для сбора лесосечных отходов и степень их уплотнения, которая, в свою очередь, зависит от конструкции машины для транспортировки лесосечных отходов и технологических особенностей выполнения отдельных операций.

Среди рассмотренных технологий наиболее эффективно применение комплекса машин для

сбора и транспортировки лесосечных отходов после проведения заготовки древесины бензиномоторными пилами. В данном случае лесосечные отходы будут разбросаны по всей территории лесосеки, их концентрация влияет на производительность всего комплекса. При этом технология проведения лесозаготовительных работ не оказывает существенного влияния на производительность машины для транспортировки лесосечных отходов, значение которой находится в диапазоне 5,7–8,0 м<sup>3</sup>/см. Для максимального повышения эффективности очистки лесосек от отходов, в том числе на основе применения комплекса машин, рекомендуется:

- применять разработанный комплекс на лесосеках после их разработки с использованием бензиномоторного инструмента;
- очищать в первую очередь лесосеки, имеющие наибольший ликвидный запас древесины;
- осуществлять очистку лесосек, разработанных с помощью бензиномоторного инструмента, а также при отсутствии подроста, путем формирования общего для двух пасек вала;
- при очистке лесосеки, разработанной харвестером, предпочтительным является сбор валов в кучи в отличие от формирования вала с двух или трех пасек;
- выбирать место для складирования и последующей переработки лесосечных отходов исходя из обеспечения снижения среднего расстояния трелевки.

Что касается параметров перспективного комплекса для сбора и транспортировки лесосечных отходов, то в целом они обеспечивают эффективное выполнение возложенных функций. При этом с целью повышения эксплуатационных свойств комплекса машин, дальнейшее его совершенствование должно вестись с учетом следующих рекомендаций:

- в качестве базового шасси машины для сбора лесосечных отходов следует применять трактора тягового класса 1,4–2,0, так как дальнейшее его увеличение не приводит к существенному увеличению производительности при значительных эксплуатационных затратах;
- дальнейшее совершенствование машины для сбора лесосечных отходов может быть связано с увеличением ширины захвата технологического оборудования, с изменением данного параметра при выполнении транспортных и технологических операций;
- совершенствование машины для транспортировки лесосечных отходов должно ве-

стись по направлению увеличения степени уплотнения лесосечных отходов, данная величина должна находиться в диапазоне 1,5–1,7, что соответствует лучшим мировым аналогам соответствующего принципа работы;

- необходимо снижать вес технологического оборудования для транспортировки лесосечных отходов;

- машина для транспортировки лесосечных отходов должна оснащаться специальным грейферным захватом, при этом могут использоваться штатно установленные гидроманипуляторы с вылетом от 5,5 до 7,2 м, применение которых не оказывает влияния на производительность машины в целом;

- должна быть организована быстрая смена технологического оборудования, в том числе необходимо учесть возможность установки быстроразъемных соединений с целью быстрого соединения/отсоединения полуприцепа с технологическим оборудованием, а также возможность агрегатирования оборудования для сбора лесосечных отходов в передней части машины для транспортировки лесосечных отходов. Это обусловлено тем, что производительность машины на сборе лесосечных отходов в 4–8 раз выше производительности машины для транспортировки лесосечных отходов при работе по технологии очистки лесосек после проведения сплошных рубок бензиномоторными пилами.

При этом возможна организация работ, когда в течение одной-двух смен будет осуществляться сгребание отходов в валы, а последующие 4–8 смен будет осуществляться транспортировка лесосечных отходов. При работе по технологии очистки лесосек после сплошных рубок без сохранения подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины, разность производительностей достигает кратности 14. Следует отметить, что при формировании валов (технология очистки лесосек после сплошных рубок с сохранением подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины) и низкой концентрации лесосечных отходов после выполнения лесозаготовительных работ машина для транспортировки лесосечных отходов, оснащенная оборудованием для их сбора, может в процессе выполнения операций технологического цикла осуществлять формирование куч, их погрузку и транспортировку. При этом предпочтительным является соответствие объема лесосечных отходов в куче рейсовой нагрузке.

### Литература

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: Темплан, 2009. 287 с.

3. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.
4. Мохирев А. П., Зырянов М. А. Технология лесосечных работ с сортировкой порубочных остатков древесины // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 3. С. 118–122.
5. Дербин В. М., Дербин М. В. Технология заготовки древесины с сохранением подроста // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5, № 1. С. 136–143.
6. Инновационные технологии лесосечных работ // И. Р. Шегельман [и др.]. Петрозаводск: Verso, 2016. 134 с.
7. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.
8. Кононович Д. А. Результаты экспериментальных исследований машины для транспортировки лесосечных отходов // Труды БГТУ. 2019. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. № 1. С. 118–125.
9. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ. Минск: Технопринт, 2002. 479 с.
10. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья. М.: Экология, 1991. 288 с.
11. Результаты экспериментальных исследований машины для сбора лесосечных отходов / В. А. Коробкин [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 2. С. 182–189.
12. Шатравко В. Г., Толкачева Н. В. Исследование объемов порубочных остатков при рубках главного и промежуточного пользования в хвойных и широколиственных лесах // Труды БГТУ. 2011. № 1: Экология, лесоводство и охотничье хозяйство. С. 119–122.
13. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная пром-сть, 1987. 224 с.
14. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 444 с.
15. Кононович Д. А. Технологии очистки лесосек от лесосечных отходов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 245–250.

### References

1. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
2. Grigor'ev I. V., Valyazhonkov V. D. *Sovremennyye mashiny i tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot* [Modern machines and technological processes logging activities]. St. Petersburg, Templan Publ., 2009. 287 p.
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. Mokhirev A. P., Zyryanov M. A. Logging technology with sorting of timber residues. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 3, pp. 118–122 (In Russian).
5. Derbin V. M., Derbin M. V. Wood harvesting technology with the preservation of undergrowth. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry engineering journal], 2015, vol. 5, no. 1, pp. 136–143 (In Russian).
6. Shegel'man I. R., Laurila Ya. T., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Innovatsionnyye tekhnologii lesosechnykh rabot* [Innovative logging technology]. Petrozavodsk, Verso Publ., 2016. 134 p.
7. Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V. *Energeticheskoye ispol'zovaniye nizkokachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 446 p.
8. Kononovich D. A. Results of experimental studies machine for collection of forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2019, no. 1, pp. 118–125 (In Russian).
9. Matveyko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2002. 479 p.
10. Korobov V. V., Rushnov N. P. *Pererabotka nizkokachestvennogo drevesnogo syr'ya* [Processing of low-quality wood raw materials]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 288 p.
11. Korobkin V. A., Mokhov S. P., Kononovich D. A., Ariko S. Ye. Results of experimental studies machine for collection of forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 2, pp. 182–189 (In Russian).
12. Shatravko V. G., Tolкачева N. V. Study of logging residues in the main and intermediate conditions in coniferous and deciduous forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. 2011, no. 1: Forestry, pp. 119–122 (In Russian).

13. Golovkov S. I., Koperin I. F., Naydenov V. I. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 224 p.

14. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 444 p.

15. Kononovich D. A. Technologies cleaning cutting areas form logging waste. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2017, no. 2, pp. 245–250 (In Russian).

### Информация об авторах

**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

**Кононович Денис Александрович** – ассистент 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

**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

### Information about the authors

**Ariko Sergey Yevgen'evich** – 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

**Kononovich Denis Aleksandrovich** – Assistant Lecturer, 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

**Mokhov Sergey Petrovich** – PhD (Engineering), Associate 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

*Поступила 15.03.2019*

УДК 630\*377.4

**В. С. Исаченков, В. А. Симанович**

Белорусский государственный технологический университет

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
КОЛЕСНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ НА ПОЧВОГРУНТАХ  
СО СЛАБОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ**

Одним из основных критериев оценки эффективности работы колесной трелевочной машины на почвогрунтах со слабой несущей способностью является ее сменная производительность, которая зависит от конструкции технологического оборудования. В Республике Беларусь на заготовке древесного сырья в указанных условиях работы в настоящее время используются колесные трелевочные машины с канатно-чokerным технологическим оборудованием, конструкция которых имеет ряд существенных недостатков.

В статье представлены результаты эксплуатационно-технологических испытаний колесной трелевочной машины на почвогрунтах со слабой несущей способностью, в основу которых положен метод фотохронометрирования операций рабочего процесса.

Обоснован наиболее рациональный вариант усовершенствования конструкции технологического оборудования, что позволяет увеличить показатели эффективности работы колесной трелевочной машины на почвогрунтах со слабой несущей способностью.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и изготовлении колесных трелевочных машин для лесозаготовок на предприятиях Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** эффективность работы, производительность, колесная трелевочная машина, технологическое оборудование.

**V. S. Isachenkov, V. A. Simanovich**

Belarusian State Technological University

**TO QUESTION OF ESTIMATION OF EFFICIENCY OF WORK  
OF THE SKIDDER ON SOILS WITH WEAK BEARING STRENGTH**

One of basic criteria of estimation of efficiency of work of the skidder on soils with weak bearing strength is her removable productivity that depends on the construction of technological equipment. In Republic of Belarus on the purveyance of arboreal raw material, in the indicated terms of work, the skidder with wire-rope-choker technological equipment, the construction of that has a row of substantial defects, are presently used.

In the article the results of operating-technological tests of the skidder are presented on почвогрунтах with weak bearing strength, the method of phototimekeeping of operations of working process is fixed in basis of that.

The most rational variant of improvement of construction of technological equipment is reasonable, that allows increasing the indexes of efficiency of work of the skidder on soils with weak bearing strength.

They got results can be drawn on at planning and making of the skidder for logging-offs on the enterprises of Republic of Belarus.

**Key words:** efficiency of work, productivity, skidder, technological equipment.

**Введение.** Одним из основных критериев оценки эффективности работы колесной трелевочной машины является ее сменная производительность, которая зависит от конструкции технологического оборудования для конкретных природно-климатических условий [1–8].

Процесс лесозаготовки включает в себя взаимосвязанные последовательные операции, такие как валка деревьев, обрезка сучьев, при необходимости раскряжка на том или ином этапе, трелевка и последующая вывозка древесного сырья потребителям.

Большинство операций на сегодняшний момент выполняются комплексами машин и

механизмов, однако для значительной части лесосечного фонда, расположенного на грунтах со слабой несущей способностью, остается открытым вопрос эффективного, а значит, экономически целесообразного способа трелевки [9].

Трелевка включает холостой ход трелевочного трактора, формирование пачки деревьев или хлыстов, их подъем, рабочий ход и разгрузку на погрузочном пункте [10, 11].

В Республике Беларусь на заготовке древесного сырья в указанных условиях работы в настоящее время используются колесные трелевочные трактора с канатно-чokerным технологическим оборудованием, в частности



ТТР-401. Для преодоления участков трелевочных или магистральных волоков со слабой несущей способностью почвогрунта при буксовании для этих машин во время рабочего цикла используется прием сброса пачки с последующим ее подтаскиванием. Последовательное положение стандартного технологического оборудования показано на рис. 1.

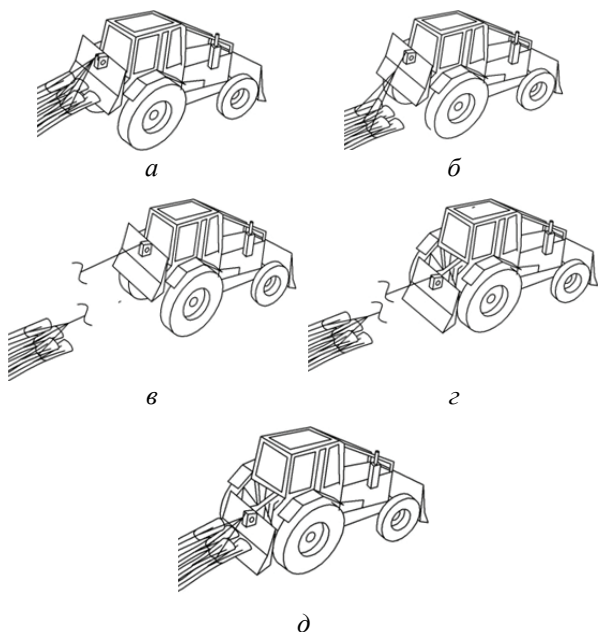


Рис. 1. Положение стандартного технологического оборудования:

- a* – щит поднят, пачка в транспортном положении;
- б* – щит поднят, сброс пачки;
- в* – щит поднят, переезд с роспуском каната;
- г* – щит опущен до упора, подтаскивание пачки;
- д* – щит опущен до упора, подъем пачки в транспортное положение

На наш взгляд, одним из основных путей дальнейшего повышения производительности труда колесных трелевочных тракторов при работе на почвогрунтах с низкой несущей способностью является усовершенствование технологического оборудования.

В качестве решения данной задачи предлагается изменить конструкцию технологического оборудования установкой дополнительной опорной оси, что позволяет использовать его в качестве как навесного, так и прицепного варианта. В начальный момент буксования технологическое оборудование переводится из навесного положения в прицепное и колесный трелевочный трактор преодолевает проблемный участок, не теряя темпа работы.

После преодоления указанного участка технологическое оборудование переводится в навесное положение, что значительно снижает энергетические потери во время преодоления

участков с удовлетворительной несущей способностью. Последовательность положений усовершенствованного технологического оборудования показана на рис. 2.

Применение усовершенствованного технологического оборудования позволяет добиться перераспределения нагрузок на несущую систему машины в процессе движения и снизить динамическую нагруженность, уменьшить расход топлива, что было доказано теоретическими, лабораторными и экспериментальными исследованиями.

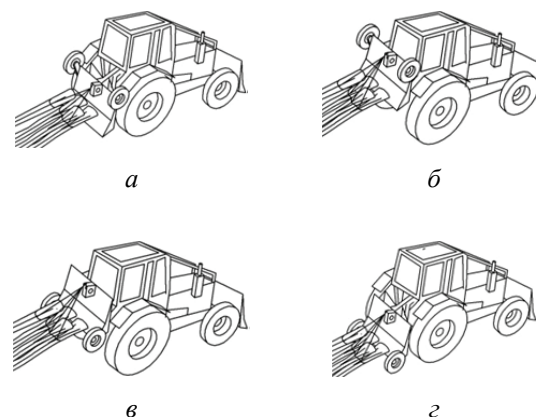


Рис. 2. Положение усовершенствованного технологического оборудования:

- a* – щит опущен до упора, дополнительная опорная ось в транспортном положении;
- б* – щит поднят, дополнительная опорная ось в транспортном положении;
- в* – щит поднят, дополнительная опорная ось в рабочем положении;
- г* – щит опущен, дополнительная опорная ось в рабочем положении

Для обоснования выдвинутого нами утверждения была поставлена задача по проведению эксплуатационно-технологических испытаний колесной трелевочной машины, оснащенной различным по конструктивным особенностям технологическим оборудованием [12].

**Основная часть.** Для эксплуатационно-технологических испытаний в качестве колесной трелевочной машины использовался трелевочный трактор ТТР-401, на котором устанавливалось как стандартное, так и усовершенствованное технологическое оборудование.

На основании проведенного анализа существующих технологических схем заготовки хлыстов при рубках главного и промежуточного пользования на грунтах со слабой несущей способностью для испытаний был принят наиболее рациональный вариант, который предусматривал использование бензиномоторных пил на валке, обрезке сучьев и ТТР-401 на сборе и трелевке хлыстов на погрузочный пункт. Схема разработки пачки представлена на рис. 3.

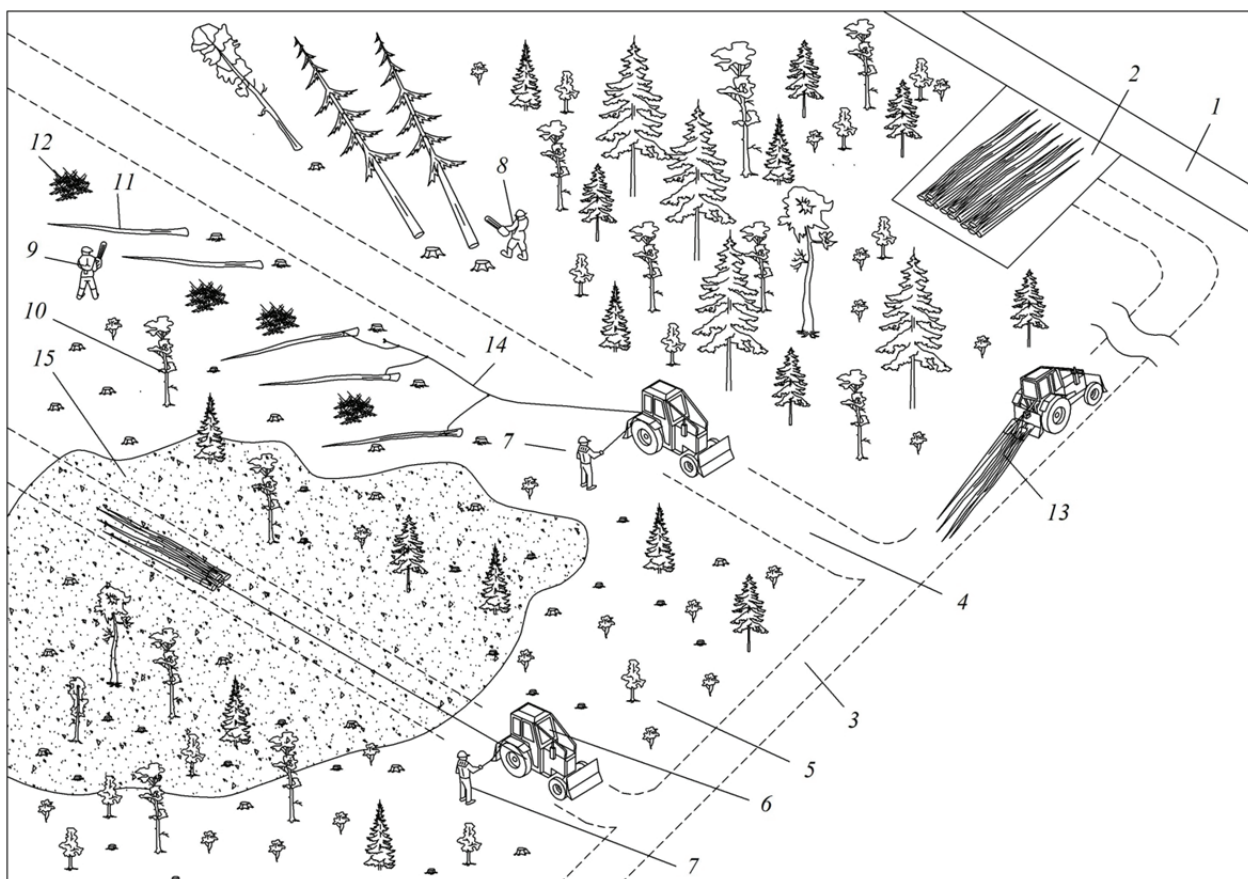


Рис. 3. Схема разработки пасеки с использованием ТТР-401 на почвогрунтах со слабой несущей способностью:  
 1 – лесовозный ус; 2 – погрузочный пункт; 3 – магистральный волок; 4 – пасечный волок;  
 5 – пасека; 6 – треловочный трактор; 7 – оператор; 8 – вальщик леса; 9 – обрезчик сучьев;  
 10 – оставленное дерево; 11 – хлыст; 12 – порубочные остатки; 13 – пачка хлыстов;  
 14 – формирование пачки; 15 – участок волока со слабой несущей способностью

В основу испытаний положен метод фотохронометрирования операций рабочего процесса ТТР-401. Данные заносились в таблицу технологического цикла работы машины. Там же указывалось наименование груза, его характеристика (объем, порода и др.), технологическая схема работы машины, среднее расстояние трелевки, длина участков со слабой несущей способностью почвогрунтов, условия сбора и разгрузки хлыстов, характеристика лесосеки, состояние, рельеф местности и дороги, способы валки деревьев и пр.

Расстояние трелевки, включающее холостой и рабочий ход, а также пробег при наборе пачки, определялось исходя из схемы разработки лесосеки путем замера пути движения с использованием шагомера. Время при проведении фотохронометражных наблюдений фиксировалось с помощью секундомера и часов.

Продолжительность испытаний была определена в объеме не менее 3-х контрольных смен работы ТТР-401. При наличии циклической работы машины на трелевке леса было установлено количество контрольных наблюдений (рейсов): не менее 15 в каждой смене. Разница

в продолжительности для определения зачетности получаемых результатов составляла не более 10%. Объем пачки хлыстов определялся по результатам замера длины хлыстов и их диаметров в комлевой части (согласно правилам таксации леса).

Эксплуатационно-технологические испытания проводились на рубках главного пользования на различных режимах работы в процессе трелевки (породный состав – 5Е2С2Ос1Б+Е, средний объем хлыста – 0,23 м<sup>3</sup>, тип леса – 1а кисличный, плотность – 0,7, средний возраст леса – 70 лет). Длина пасечного волока составляла от 150 до 300 м. Величина участков со слабой несущей способностью почвогрунта на пасечных волоках колебалась от 45 до 50 м. Объем трелеваемой пачки хлыстов варьировался от 0,15 до 1,28 м<sup>3</sup>. Скорость перемещения трактора – от 4,57 до 8,53 км/ч с использованием четырех передач.

Производительность треловочного трактора ТТР-401 определялась из выражения

$$\Pi_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{пз}}) \cdot V_{\text{п}} \cdot \varphi_1}{t_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где  $P_{см}$  – сменная производительность,  $m^3$ ;  $T$  – продолжительность смены, с;  $t_{пз}$  – время на подготовительно-заключительные операции, с;  $V_{п}$  – объем трелеваемой пачки,  $m^3$ ;  $\phi_1$  – коэффициент использования рабочего времени;  $t_{ц}$  – время рабочего цикла, с.

В свою очередь время рабочего цикла было найдено расчетным путем:

$$t_{ц} = t_o + t_{рх} + t_{хх} + t_{пр}, \quad (2)$$

где  $t_o$  – время на сброс пачки и маневрирование, с;  $t_{рх}$  и  $t_{хх}$  – время на движение машины в грузовом и порожнем направлениях, с,  $t_{пр}$  – время на сбор пачки, с.

Результаты сменной производительности трелевочного трактора ТТР-401 со стандартным и с усовершенствованным технологическим оборудованием, полученные по формулам (1) и (2), при эксплуатационно-технологических испытаниях представлены в табл. 1 и 2.

Результаты фотохронометрирования операций рабочего цикла для ТТР-401 позволили убедиться в том, что наибольшие потери сменной производительности наблюдаются во время движения в грузовом направлении для трактора с серийным технологическим оборудованием.

Таблица 1

**Сменная производительность трелевочного трактора ТТР-401 со стандартным технологическим оборудованием**

Объем пачки, $m^3$	Длина трелевки, м			
	150	200	250	300
0,15	5,61	5,01	4,53	4,13
0,26	9,25	8,31	7,54	6,90
0,65	21,63	19,48	17,69	16,23
0,85	29,40	26,50	24,08	22,10
1,28	43,90	39,59	36,01	33,06

Производительность труда при работе на грунтах со слабой несущей способностью для трелевочного трактора ТТР-401 с усовершенствованным технологическим оборудованием соизмерима с результатами работы этой же машины со стандартным технологическим оборудованием для трелевочных и магистральных

волоков с удовлетворительной несущей способностью почвогрунтов.

Таблица 2

**Сменная производительность трелевочного трактора ТТР-401 с усовершенствованным технологическим оборудованием**

Объем пачки, $m^3$	Длина трелевки, м			
	150	200	250	300
0,15	8,48	7,19	6,28	5,50
0,26	13,64	11,70	10,22	9,09
0,65	31,62	27,22	23,85	21,26
0,85	42,80	36,91	32,39	28,90
1,28	63,65	54,98	48,31	43,15

Так, для трелевочного трактора ТТР-401 со стандартным технологическим оборудованием при средней рейсовой нагрузке в  $1,28 m^3$  на участках волока в 50 м с низкой несущей способностью почвогрунтов при длине трелевки 150 м продолжительность рабочего цикла составила 543 с. В то же время для модернизированного оборудования она составила 425 с.

Соответственно, при односменной семичасовой работе производительность труда составила 63,65 и 43,90  $m^3$  (по данным завода-производителя при стандартной комплектации трелевочного трактора ТТР-401 сменная производительность в том же временном интервале при рейсовой нагрузке в  $1,2 m^3$  составляет 60  $m^3$ ).

На основе изложенного можно сделать вывод о целесообразности выбора усовершенствованного технологического оборудования для колесных трелевочных машин.

**Заключение.** Представленными результатами проведенных исследований было установлено, что применение усовершенствованного канатно-чокерного технологического оборудования позволяет увеличить показатели эффективности работы колесной трелевочной машины на почвогрунтах со слабой несущей способностью.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании машин для лесозаготовок на предприятиях Республики Беларусь.

## Литература

1. Кононов А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларуси: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Белорус. с.-х. акад. Горки, 1974. 41 с.
2. Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: труды почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. М., 1981. С. 56–61.

3. Соколова В. А., Петров И. П. Исследование взаимодействия арочного колеса с опорной поверхностью // Труды НАМИ. 1962. Вып. 54. С. 64–72.
4. Хайлис Г. А. К теории качения пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. 1963. № 3. С. 5–7.
5. Симанович В. А., Демидов В. А., Клоков Д. В. Колеса и шины лесных и лесотранспортных машин. Минск: БГТУ, 2005. 84 с.
6. Симанович В. А., Исаченков В. С. Оценка тягово-сцепных свойств трелевочных тракторов с усовершенствованной конструкцией несущей системы // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб- раб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 116–119.
7. Протас П. А., Клоков Д. В. Аналитическое исследование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с пачкой хлыстов и волоком // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. 2014. Т. 2, № 5–4. С. 256–260.
8. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров канатно-чокерного технологиче- ского оборудования // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревооб- раб. пром-сть. С. 39–42.
9. Лесной фонд [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (дата обращения: 18.02.2019).
10. Вyrko Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: БГТУ, 2003. 438 с.
11. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесосечных и лесо- складских работ. Практикум. Минск: БГТУ, 2013. 199 с.
12. Ермалицкий А. А., Клоков Д. В. Методика оценки средств механизации лесопогрузочных операций по критерию энергоемкости // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб- раб. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 63–67.

#### References

1. Kononov A. M. *Issledovaniye realixatsii tyagovo-stsepynykh kachestv i agrotekhnicheskoy prokhozimosti 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 dr. tech. sci.]. Gorki, 1974. 41 p.
2. 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"* [V. V. Dokuchaev Soil Institute works "Influence of agricultural machinery on soil"]. Moscow, 1981, pp. 56–61 (In Russian).
3. 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).
4. Haylis G. A. To the theory of the rolling of a pneumatic wheel. *Tractory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 1963, no. 3, pp. 5–7 (In Russian).
5. Simanovich V. A., Demidov V. A., Klokov D. V. *Kolesa i shiny lesnykh i lesotransportnykh mashin* [Wheels and tires forestry and transport machine]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 84 p.
6. Simanovich V. A., Isachenkov V. S. Evaluation of traction characteristics skidders with advanced design support system. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 116–119 (In Russian).
7. Protas P. A., Klokov D. V. Analytical study of the interaction of wheel skidder with a bundle of stems and portage. *Analiticheskoye issledovaniye protsessa vzaimodeystviya kolesnykh trelevochnykh mashin s pachkoy khlystov i volokom* [Recent research trends of the XXI century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 5–4, pp. 256–260 (In Russian).
8. Isachenkov V. S., Simanovich V. A. Rope-choker trailed implements determination of parame- ters. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 39–42 (In Russian).
9. *Lesnoy fond* [Forest estate]. Available at: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (accessed 18.02.2019).
10. Vyrko N. P. *Sukhoputnyy transport lesa* [Forest land transport]. Minsk, BGTU Publ., 2003. 438 p.
11. Matveyko A. P., Klokov D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesosechnykh i lesosk- ladskikh rabot. Praktikum* [Technology and equipment for logging and landing works. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2013. 199 p.
12. Yermalitski A. A., Klokov D. V. Methods of assessment of forest mechanization of loading opera- tions on the criterion of energy consumption. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 63–67 (In Russian).

### Информация об авторах

**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

**Симанович Василий Антонович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

### Information about the authors

**Isachenkov Vladimir Sergeevich** – Assistant Lecturer, the Department of Engineering Graphics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

**Simanovich Vasily Antonovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

*Поступила 20.03.2019*

УДК 625.711.84

**Ю. И. Мисуно, П. А. Протас**

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ  
С ЛЕСНЫМИ ПОЧВОГРУНТАМИ НА ПАРАМЕТРЫ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕСОСЕКИ**

Анализ и оценка взаимодействия движителей лесных машин с почвогрунтами является одной из сложнейших задач при проектировании технологического процесса лесосечных работ. Особенно если речь идет о разработке участков, чувствительных к воздействию лесозаготовительной техники. Для реализации работы высокопроизводительной техники на слабонесущих почвогрунтах с максимальной эффективностью и минимальным воздействием на лесной почвогрунт разработано большое количество рекомендаций. Однако зачастую применение этих рекомендаций ограничено или вовсе не предусмотрено в действующих нормативных документах Республики Беларусь. С учетом изменчивости природно-климатических условий произрастания лесонасаждений лесопользователям необходимо стремиться обеспечивать своевременное освоение лесных ресурсов с минимальными затратами и наименьшим риском критического повреждения лесных почв.

В данной статье показаны результаты работы по исследованию влияния параметров технологических элементов лесосеки на степень повреждения почвогрунта. В частности, были рассмотрены способы снижения негативного воздействия движителя лесной машины на почвогрунт за счет изменения параметров пашки и устройства погрузочного пункта, в комплексе с изменением рейсовой нагрузки, внутреннего давления воздуха в шинах и т. д. Предложены рекомендации по реализации мер по снижению уплотнения почвогрунта. А также представлены направления для дальнейшего изучения вопросов по оценке эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами.

**Ключевые слова:** технологический процесс, лесные почвогрунты, технологические элементы лесосеки, движитель, уплотнение.

**Yu. I. Misuno, P. A. Protas**

Belarusian State Technological University

**THE INFLUENCE OF INDICATORS OF THE INTERECTION OF MOVER  
WITH FOREST SOILS ON THE PARAMETRS  
OF THE TECHNOLOGICAL ELEMENTS OF THE CUTTING AREA**

The analysis and assessment of the interaction of forest machines thrusters with soil is one of the most difficult tasks in the design process of logging operations. Especially when it comes to the development of areas sensitive to the effects of logging equipment. A large number of recommendations have been developed for the implementation of the work of high-performance equipment on weakly bearing soils with maximum efficiency and minimal impact on forest soils. However, often the application of these recommendations is limited or not at all stipulated in the current regulatory documents of the Republic of Belarus. Taking into account the variability of natural and climatic conditions for the growth of forest plantations, forest users should use every opportunity to ensure the timely development of forest resources with minimal costs and with the lowest risk of critical damage to forest soils.

This article shows the results of work on the study of the influence of the parameters of the technological elements of the cutting area on the degree of damage to the soil. In particular, methods were considered to reduce the negative impact of a forest machine driver on a soil by changing the parameters of the apiary and the loading point, in conjunction with changing the regular load, the internal air pressure in the tires, etc. Recommendations for the implementation of measures to reduce soil compaction are proposed. And also presents directions for further study of issues for assessing the operational and environmental compatibility of forest machines with soil grounds.

**Key words:** technological process, forest soils, technological elements of the cutting area, mover, compaction.

**Введение.** Проектирование технологического процесса лесосечных работ – это ответственный и достаточно сложный процесс планирования выполнения лесозаготовительных

операций. Особенно если речь идет о разработке участков, чувствительных к воздействию лесозаготовительной техники. В данном случае сложность заключается в выборе такой системы

машин и технологии работ, при которых негативное влияние, оказываемое на лесной почвогрунт, будет минимальным. А как известно, особенно губительным является воздействие ходовых систем лесных машин на влажные и переувлажненные почвогрунты [1], в результате чего возникает переуплотнение почвы, разрушение ее структуры, колееобразование, минерализация и т. д. Наиболее значимыми из них являются уплотнение почвы и колееобразование [2–6].

Важная часть проектирования лесосечных работ – это прогнозирование возможного повреждения лесного почвогрунта и принятие соответствующих мер по предотвращению критического ущерба, наносимого движителем лесной машины. Эта проблема не теряет своей актуальности, поскольку процент машинной заготовки в Республике Беларусь и во всем мире ежегодно растет.

Для различных природно-производственных условий разработаны отдельные технологические процессы, которые обеспечивают необходимую эффективность выполнения лесосечных работ. В то же время для освоения заболоченных участков было разработано большое количество рекомендаций по смягчению последствий работы техники на почвогрунты: установка съемных гусениц на танدمные тележки машин, применение шин повышенной проходимости или шин с низким и сверхнизким внутренним давлением воздуха в шинах, армирование трелевочных волоков порубочными остатками, организация сезонности выполнения работ и т. д. [7, 8]. В данной работе основное внимание было уделено исследованию влияния параметров технологических элементов лесосеки на степень повреждения почвогрунта при трелевке лесоматериалов форвардером.

**Основная часть.** Под технологическими элементами понимаются участки лесосеки, занятые под волоки, подъездные пути, погрузочные площадки, места складирования древеси-

ны, топливно-смазочных материалов, размещения бытовых помещений, стоянки техники [9].

Типовые схемы расположения технологических элементов лесосеки показаны на рисунке. Их расположение и параметры зависят от выбираемой технологии разработки лесосеки, которая, в свою очередь, будет проектироваться исходя из вида заготавливаемых лесоматериалов, природно-производственных условий и применяемой системы машин.

Потому предлагается решать вопрос с точки зрения обеспечения минимизации негативного влияния лесозаготовительных машин на слабых почвогрунтах по всей площади лесосеки.

В данной работе были проведены теоретические исследования по обоснованию параметров технологических элементов лесосеки, при которых ущерб на почвогрунт будет минимальным, а эффективность лесозаготовительного производства оптимальной.

**Методика расчета.** Как уже упоминалось ранее, наиболее значимым повреждением лесного почвогрунта является уплотнение почвы. Ущерб, наносимый в этом случае, оказывает влияние на физико-механические, химические и биологические свойства почвы, которые непосредственно связаны с продуктивностью и возобновлением леса.

Степень уплотнения почвогрунта движителями машин зависит от двух типов факторов: управляемых и неуправляемых. К управляемым относятся вес машины и перевозимого груза, конструктивные параметры ходовых систем, количество проходов машины по одному следу и т. д. К неуправляемым факторам относятся характеристики почвогрунта: механический состав почвы, ее влажность, первоначальная плотность и др. Соответственно, именно за счет управляемых факторов можно запланировать необходимые мероприятия по снижению уплотнения почвогрунта при работе техники в заданных почвенно-грунтовых условиях.

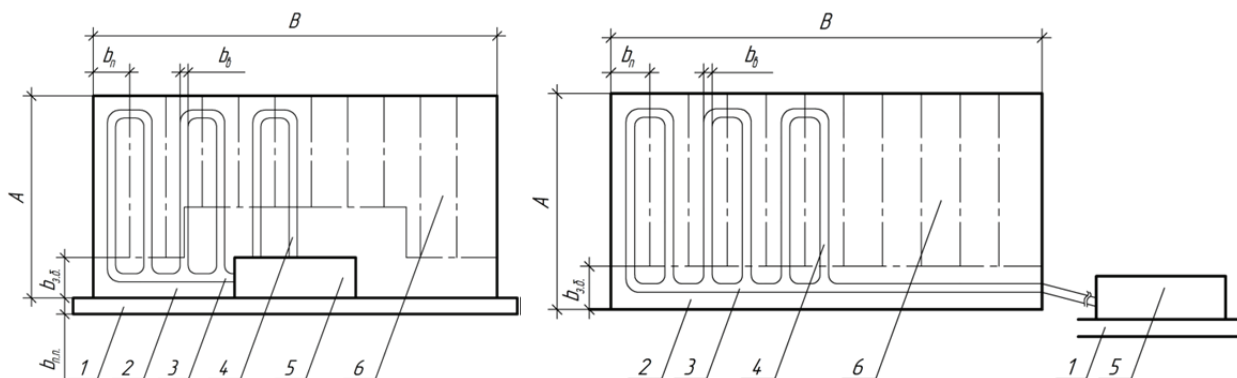


Схема расположения технологических элементов лесосеки:

- 1 – подъездной путь; 2 – зона безопасности; 3 – магистральный трелевочный волок;  
4 – пасечный трелевочный волок; 5 – погрузочный пункт; 6 – пасека

Определение степени уплотнения почвогрунта проводилось по методике, разработанной Жураковским В. П., которая основана на физической сущности процессов деформирования грунта [10].

Согласно предложенной методике, плотность почвы после воздействия нагрузки определяется по формуле

$$\rho = \rho_0 + \frac{\rho_{\text{ТВ}}}{1 + \frac{E}{q_{\text{max}} \cdot K_d \cdot K_F}}, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – начальная плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ТВ}}$  – плотность твердых частиц, г/см<sup>3</sup>;  $E$  – модуль деформации, Па;  $q_{\text{max}}$  – максимальное давление движителя на почвогрунт, Н;  $K_d$  – коэффициент динамичности;  $K_F$  – коэффициент площади.

Коэффициент динамичности учитывает влияние скорости движения техники и число проходов на процессы деформирования грунта и определяется по формуле

$$K_d = \frac{1}{1 + \frac{v \cdot K_F}{\varphi_0 \cdot l \cdot n}}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость движения машины, м/с;  $\varphi_0$  – угол внутреннего трения;  $l$  – длина линии контакта колеса с грунтом, м;  $n$  – число проходов по одному следу.

Количество проходов трелевочного трактора по пасечному волоку можно определить по формуле

$$n = \frac{M}{V_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где  $M$  – запас на ленте (пасеке), м<sup>3</sup>;  $V_{\text{п}}$  – объем трелеваемой пачки, м<sup>3</sup>.

Запас древесины на ленте (пасеке) определяется следующим образом:

$$M = \frac{b_{\text{л}} \cdot (a - b_3) \cdot q_{\text{га}}}{10\,000} \cdot i, \quad (4)$$

где  $b_{\text{л}}$  – ширина разрабатываемой ленты (пасеки), м;  $a$  – ширина лесосеки, м;  $b_3$  – ширина зоны безопасности, м;  $q_{\text{га}}$  – запас леса на одном гектаре, м<sup>3</sup>;  $i$  – интенсивность рубки.

Коэффициент площади учитывает распределение напряжений в грунте по глубине залегания слоев в зависимости от площади деформатора:

$$K_F = \frac{1}{1 + \frac{(K_z \cdot z)^2}{F_{\text{к}}}}, \quad (5)$$

где  $K_z$  – коэффициент затухания напряжений в почвогрунте;  $z$  – глубина залегания слоя, м;  $F$  – площадь отпечатка колеса, м<sup>2</sup>.

$$K_z = \frac{0,64 \cdot h_{\text{г}} + 0,64 \cdot b}{h_{\text{г}}}, \quad (6)$$

где  $h_{\text{г}}$  – деформация грунта (глубина колеи), м;  $b$  – ширина отпечатка колеса, м.

Величина допустимой плотности почвогрунта после нагрузки зависит от состава лесонасаждений. Установлено [11], что статическое давление машины на почву более 80 кПа препятствует развитию мелких корней, а при давлении на почву 30–50 кПа их рост может быть затруднен. Прекращается рост корней при плотности почвы более, г/см<sup>3</sup>: для дуба – 1,89; березы – 1,80; сосны – 1,72; ели – 1,61. При давлении на почву 90 кПа прирост молодняков уменьшается на 15% в течение первых 4–5 лет.

Степень уплотнения почвогрунта непосредственно зависит от оказываемого давления движителя лесных машин на поверхность движения. Для определения данного показателя в качестве основы была выбрана методика оценки давления по ГОСТ 26955-86 [12]. Эта методика была разработана для сельскохозяйственных машин. Потому в своем первоначальном виде она не предназначена для расчета давления движителей лесных машин, осуществляющих свою работу на лесосеке. Приняв ее в качестве базовой, были изменены некоторые расчетные формулы, которые позволили приблизить методику к условиям лесозаготовительных работ. Изменение расчетных формул осуществлялось на основании исследований профессора Агейкина Я. С. [13].

Для определения значений максимального давления колесного движителя на почву необходимо знать среднее давление движителя на основание, контурную площадь контакта, а также ширину и длину контакта колеса с грунтом.

Для расчета максимального и среднего давлений колесного движителя на опорную поверхность воспользуемся первоначальной зависимостью, приведенной в стандартной методике:

$$q_{\text{max}} = \frac{K_2 \cdot q_{\text{ср}}}{K_1}, \quad (7)$$

где  $K_2$  – коэффициент продольной неравноности распределения давления по площади контакта шины с грунтом,  $K_2 = 1,5$ ;  $q_{\text{ср}}$  – среднее давление колесного движителя на основание, кПа;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины (табл. 1).



Таблица 1  
Численные значения коэффициента  $K_1$

Наружный диаметр шины, м	До 0,6	Свыше 0,6 до 0,8	Свыше 1 до 1,2	Свыше 1,2 до 1,5	Свыше 1,5
Коэффициент $K_1$	1,6	1,4	1,2	1,15	1,1

Среднее давление колесного движителя на жесткое основание определяется по формуле

$$q_{\text{ср}} = \frac{G_{\text{к}}}{F_{\text{к}}}, \quad (8)$$

где  $G_{\text{к}}$  – вертикальная нагрузка на опорное основание, кН.

Для определения площади контакта колеса на жестком основании примем форму отпечатка колеса в форме эллипса. Тогда контурную площадь контакта колеса найдем по формуле

$$F_{\text{к}} = \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot b. \quad (9)$$

Первоначальные формулы по определению параметров отпечатков колеса были заменены на приведенные ниже зависимости, представленные в работе [13]. Данные формулы помогают определить величину площади контакта колеса с мягким почвогрунтом, что позволяет максимально адаптировать расчетную методику к условиям работы техники на лесных почвогрунтах.

Величина ширины отпечатка колеса определяется из уравнения

$$b = b_{\text{пр}} + \frac{10 \cdot (B + h_z - b_{\text{пр}}) \cdot h_{\text{г}}}{H - h_z + 10 \cdot h_{\text{г}}}, \quad (10)$$

где  $b_{\text{пр}}$  – ширина проектора шины, м;  $B$  – ширина профиля шины, м;  $h_z$  – нормальный прогиб шины, м;  $H$  – высота профиля шины, м.

Для определения нормального прогиба шины в зависимости от нагрузки и давления воздуха в шинах использовали следующую эмпирическую формулу

$$h_z = \frac{K \cdot G_{\text{к}}^{3/4}}{(1 + p_w)}, \quad (11)$$

где  $K$  – постоянный коэффициент, определяемый экспериментально и имеющий следующие значения: для диагональных шин низкого давления – 0,41–0,74; для шин с регулируемым давлением – 0,45–0,63; для широкопрофильных шин – 0,25–0,5;  $p_w$  – внутреннее давление воздуха в шине, кПа.

Длина контакта определяется по следующей зависимости:

$$l = \sqrt{D \cdot h_z - h_z^2} + \sqrt{D \cdot (h_z + h_{\text{г}}) - (h_z + h_{\text{г}})^2}, \quad (12)$$

где  $D$  – диаметр колеса, м.

**Результаты.** Для выполнения расчетов принимались следующие исходные данные.

Для сравнения были выполнены расчеты для трех типов лесных почв, которые соответствуют II, III и IV типам местности: супесь, суглинок и переувлажненный суглинок. Их характеристики представлены в табл. 2 [14].

Таблица 2  
Характеристика типов лесных почв

Параметр	Супесь	Суглинок	Тяжелый суглинок
Несущая способность, кН/м <sup>2</sup>	40–70	30–60	20–30
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,4–1,7	1,5–1,8	1,6–1,9
Плотность твердых частиц, г/см <sup>3</sup>	2,68–2,72	2,69–2,73	2,71–2,76
Модуль деформации, МПа	3,0	1,0	0,4
Толщина деформируемого слоя, м	0,3	0,4	0,8
Угол внутреннего трения, град	16	15	11

Параметры лесосеки принимались типовыми для условий Республики Беларусь: ширина лесосеки – 100 м; ширина зоны безопасности – 25 м; запас древесины на 1 га – 210 м<sup>3</sup>/га. Расчет давления движителя на почвогрунт осуществлялся для полностью загруженного форвардера «Амкодор-2661-01». Технические характеристики форвардера и устанавливаемых шин представлены в работе [15]. Расчет площади контакта колеса с опорной поверхностью и максимального давления движителя на почву осуществлялся для заднего колеса тандемной тележки. Распределение нагрузки между передними и задними колесами для загруженного форвардера принималось равным 70/30%.

Результаты расчета представлены в табл. 3, 4.

Самые высокие показатели уплотнения наблюдаются у суглинистых почв. По сравнению с их первоначальной плотностью после прохода техники данный показатель увеличивается более чем в 1,5 раза для суглинистых и в 2 раза для переувлажненных суглинистых почв. У супесчаных почв плотность после прохода техники составила 1,83 г/см<sup>3</sup>, что в 1,3 раза больше первоначального значения плотности.

Как показывают результаты расчетов, снижение ширины пасаки и уменьшение рейсовой нагрузки до минимально допустимых пределов позволяет обеспечить снижение степени уплотнения почвогрунта практически на 2–5%.

Таблица 3

Результаты расчета степени уплотнения почвогрунта с учетом внутреннего давления воздуха в шине, ширины пасаки, рейсовой нагрузки и числа проходов техники по одному следу, г/см<sup>3</sup>

Ширина пасаки, м	Объем трелюемой пачки, м <sup>3</sup>	Количество проходов	Внутреннее давление воздуха в шинах					
			$p_w = 300$ кПа			$p_w = 140$ кПа		
			Супесь	Суглинок	Переувлажненный суглинок	Супесь	Суглинок	Переувлажненный суглинок
18	13	3	1,830	2,553	3,260	1,822	2,472	3,177
10	13	2	1,858	2,532	3,231	1,812	2,453	3,150
18	7	4	1,805	2,441	3,146	1,766	2,371	3,068
10	7	3	1,799	2,430	3,130	1,762	2,362	3,054

Таблица 4

Результаты расчета уплотнения почвогрунта с учетом изменения рейсовой нагрузки и числа проходов техники по одному следу, г/см<sup>3</sup>

Количество проходов	Объем трелюемой пачки					
	$V_n = 13$ м <sup>3</sup>			$V_n = 7$ м <sup>3</sup>		
	Супесь	Суглинок	Переувлажненный суглинок	Супесь	Суглинок	Переувлажненный суглинок
2	1,858	2,532	3,254	1,787	2,410	3,124
3	1,870	2,553	3,275	1,798	2,430	3,147
4	1,876	2,563	3,286	1,804	2,441	3,158
5	1,880	2,570	3,292	1,807	2,447	3,165

Снижение внутреннего давления воздуха в шине позволяет снизить степень уплотнения почвогрунта после прохода техники при прочих равных условиях почти на 4%.

Влияние на уплотнение почвогрунта оказывает количество проходов техники по одному волоку, что напрямую зависит от параметров пасаки и среднего запаса древесины на 1 га. Так, при снижении количества проходов техники по одному волоку и объема трелюемой пачки до 7 м<sup>3</sup> можно обеспечить снижение уплотнения почвогрунта на 5–6%.

Согласно приведенным на рис. 1 схемам, при ширине пасаки 18 м технологические элементы лесосеки с погрузочным пунктом занимают 25,1%. При устройстве погрузочного пункта вне лесосеки – 16,7%. Если устанавливать ширину пасаки равной 10 м, то процент технологических элементов лесосеки составит 38,6 и 30% соответственно.

**Заключение.** Для обеспечения удовлетворительной экологической ситуации на лесосеке требуется чтобы движение лесных машин осуществлялось только по пасечным и магистральным волокам. При устройстве погрузочного пункта на лесосеке для соблюдения требований по ограничению площади ее технологических элементов пасаки должны иметь ширину не менее 18 м. С технической точки зрения работа харвестеров и форвардеров возможна при таких параметрах пасаки. Однако при большом запаса древесины на 1 га может значительно увеличиться плотность почвогрунта в результате большого количества прохода техники.

В данном случае рекомендуется при работе на суглинистых почвах уменьшать ширину пасаки до 10 м или вводить дополнительный магистральный волок. При этом погрузочный пункт рекомендуется устраивать не на территории лесосеки, а возле дорог общего пользования.

Недостатком увеличения числа волоков на лесосеке является увеличение степени минерализации почвы, которая может стать причиной возникновения эрозии. Однако на определенных режимах движения трелевочного трактора грунтозацепы шины могут производить интенсивное перемешивание растительного слоя с минеральной частью почвы, что, по мнению ученых-лесоводов, плодотворно влияет на возобновление леса. Доказано, что воздействие тракторной трелевки на поверхность вырубков может как ухудшать, так и улучшать ее лесорастительные свойства [16].

Тем не менее, как можно видеть из результатов расчетов, более существенного эффекта по снижению уплотнения слабонесущих почвогрунтов можно достичь за счет комплекса мероприятий. В дальнейшем необходимо проведение исследований по оценке степени уплотнения почвогрунта после прохода техники с различным типом движителя. На основании полученных результатов возможно провести обоснование оптимальных параметров движителей лесных машин. И уже на основании этого осуществлять расчет рекомендуемых параметров технологических элементов лесосеки.

### Литература

1. Андронов А. В., Валяжонков В. Д., Добрынин Ю. А. Снижение воздействия машин на почвогрунты при проведении рубок ухода // Вестник КрасГАУ. 2014. № 7 (94). С. 151–157.
2. Дручинин Д. Ю. Повреждение лесной почвенно-растительной среды при проведении лесозаготовительных работ // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2017. С. 84–87.
3. Воздействие лесозаготовительной техники на лесную среду / Ю. Ю. Герасимов [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2008. № 21–3. С. 186–188.
4. Solgi A., Najafi A. The impacts of ground-based logging equipment on forest soil // Journal of forest science. 2014. № 60 (1). P. 28–34.
5. Damage to soil and residual trees caused by different logging systems applied to late thinning / A. Cudzik [at al.] // Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. № 38 (1). P. 83–95.
6. The impact of heavy traffic on forest soils: a review / M. Cambi [at al.] // Forest ecology and management. 2015. № 338. P. 124–138.
7. Мисуню Ю. И., Протас П. А. Повышение работоспособности трелевочных волоков на заболоченных участках лесосечного фонда // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2017. С. 25–28.
8. Мисуню Ю. И., Протас П. А. Применение лесотранспортных машин с комбинированным типом движителя на слабонесущих почвогрунтах // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф., Рубцовск, 27–28 окт. 2017 г. / Рубцовск. индустр. ин-т. Рубцовск, 2017. С. 305–312.
9. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1360-2002. Введ. 09.12.2002. Минск: Госстандарт, 2002. 22 с.
10. Жураковский В. П. Оценка проходимости и вредного воздействия на почву многоосной колесной машины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1993. 15 с.
11. Федоренчик А. С., Герман А. А., Протас П. А. Лесные машины «Амкодор». Минск: БГТУ, 2013. 240 с.
12. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву: ГОСТ 26955-86. Введ. 01.01.1987. М.: Гос. агропром. ком. СССР, 1987. 8 с.
13. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.
14. Устинов В. В. Экспериментальные исследования сопротивления почвогрунта при вдавливания конического индентора // Лесотехнический журнал. 2016. № 3. С. 188–196.
15. Протас П. А., Мисуню Ю. И. Исследование давления колесного движителя форвардера «АМКОДОР 2661-01» на опорную поверхность // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 251–258.
16. Шкрум В. Д. Уменьшение экологического ущерба от воздействия колесных трелевочных систем на лесную почву: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2006. 20 с.

### References

1. Andronov A. V., Valyazhonkov V. D., Dobrynin Yu. A. Reducing the impact of cars on the soils during thinning. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2014, no. 7 (94), pp. 151–157 (In Russian).
2. Druchinin D. Yu. Damage the forest soil and plant environment at carrying out forest harvesting operations. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya"* [Materials of international scientific-technical conference "Logging industry: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 84–87 (In Russian).
3. Gerasimov Yu. Yu., Karvinen S., Syunev V. S., Katarov V. K. The impact of forestry equipment on the forest environment. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2008, no. 21–3, pp. 186–188 (In Russian).
4. Solgi A., Najafi A. The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Journal of forest science*, 2014, no. 60 (1), pp. 28–34.
5. Cudzik A., Brennenstuhl M., Białczyk W., Czarnecki Ja. Damage to soil and residual trees caused by different logging systems applied to late thinning. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2017, no. 38 (1), pp. 83–95.
6. Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. The impact of heavy traffic on forest soils: a review. *Forest ecology and management*, 2015, no. 338, pp. 124–138.

7. Misuno Yu. I., Protas P. A. Increasing of the operating capacity of skid roads on the swampy sites of timber cutting area. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya"* [Materials of international scientific-technical conference "Logging industry: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 25–28 (In Russian).

8. Misuno Yu. I., Protas P. A. Application of logging forwarders with combined type mover on weakly soils. *Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennaya tekhnika i tekhnologii: problemy, sostoyaniye i perspektivy"* [Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference "Modern equipment and technology: problems, status and prospects"]. Rubtsovsk, 2017, pp. 305–312 (In Russian).

9. STB 1360-2002. Sustainable forest management and forest use. Main felling. Technology requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2002. 22 p. (In Russian).

10. Zhurakovskiy V. P. *Otsenka prokhodimosti i vrednogo vozdeystviya na pochvu mnogoosnoy kole-snoy mashiny. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Estimation of patency and harmful effects on the soil of a multi-axle wheeled vehicle. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Moscow, 1993. 15 p.

11. Fedorenchik A. S., German A. A., Protas P. A. *Lesnyye mashiny "Amkodor"* [Forest machines "Amkodor"]. Minsk, BGTU Publ., 2013. 240 p.

12. GOST 26955-86. Agricultural machinery mobile. The norms of the impact of propulsion on the soil. Moscow, Gosudarstvennyy agropromyshlennyy komitet SSSR Publ., 1987. 8 p. (In Russian).

13. Ageykin Ya. S. *Prokhodimost' avtomobiley* [Passability of cars]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 232 p.

14. Ustinov V. V. Experimental studies of the resistance of the soil when the conical indenter is pressed. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forest engineering journal], 2016, no. 3, pp. 188–196 (In Russian).

15. Protas P. A., Misuno Yu. I. Investigation of pressure of the forwarder "AMKODOR 2661-01" wheeler on the base surface. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2017, no. 2, pp. 251–258 (In Russian).

16. Shkrum V. D. *Umen'sheniye ekologicheskogo ushcherba ot vozdeystviya kolesnykh trelevochnykh sistem na lesnuyu pochvu. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Reducing environmental damage from the impact of wheeled skidders on forest soil. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. St. Petersburg, 2006. 20 p.

### Информация об авторах

**Мисуно Юлия Игоревна** – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: julia.misuno@yandex.ru

**Протас Павел Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: protas77@rambler.ru

### Information about the authors

**Misuno Yuliya Igorevna** – 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: julia.misuno@yandex.ru

**Protas Pavel Alexandrovich** – 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: protas77@rambler.ru

Поступила 18.03.2019

УДК 630\*83

**М. Давиданс<sup>1</sup>, А. Савельев<sup>1</sup>, С. Е. Арико<sup>2</sup>, Л. Липиньш<sup>1</sup>, В. А. Симанович<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Латвийский сельскохозяйственный университет<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕНЬЕВ КАМИННЫХ ДРОВ НА ПЛОТНОСТЬ ИХ УКЛАДКИ В УПАКОВКУ**

В статье приведены основные результаты исследований, связанных с изучением влияния параметров каминных дров (поленьев) на плотность их укладки в поддоны типоразмеров 1,8 RM и 1,8 RM (30). В соответствии с разработанной методикой исследований рассматривались 4 наиболее распространенных способа раскола чурок (пополам, на 4, 6 и 8 частей). При этом определялся теоретический объем получаемых поленьев длиной 25 и 30 см, которые сравнивались с реальными, расколотыми заданным методом из чурок аналогичного размера. Полученные результаты позволили установить, что данные теоретических исследований имеют погрешность 6–10%. В свою очередь было установлено, что наименьшее количество поленьев требуется на наполнение поддон-короба типоразмера 1,8 RM поленьями, полученными в результате раскола чурки на 4 части. Это связано с меньшей длиной поленьев (25 см) и возможностью обеспечения более плотной укладки. Наибольший объем пустот наблюдается при укладке поленьев, равных 1/8 части чурки, в поддон-короб типоразмера 1,8 RM (30) и полуполен в поддон-короб типоразмера 1,8 RM. В результате исследований установлены коэффициенты пересчета поленьев в упаковке в плотные кубометры, которые находятся в диапазоне 0,617–0,757.

**Ключевые слова:** каминные дрова, исследование, вместимость, коэффициент, способ укладки, контейнер.

**M. Davidans<sup>1</sup>, A. Saveljev<sup>1</sup>, S. Ye. Ariko<sup>2</sup>, L. Lipins<sup>1</sup>, V. A. Simanovich<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Latvian University of Agriculture<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**INFLUENCE OF PHYSICAL PARAMETERS OF FIREWOOD LOGS ON THEIR PACKING DENSITY**

The article presents the main results of the study of the influence of the parameters of firewood (logs) on the density of their laying in pallets of frame sizes 1.8 RM and 1.8 RM (30). In accordance with the developed research methodology, 4 ways to split chocks were considered (in half, into 4, 6, and 8 parts). At the same time, the theoretical volume of the obtained logs with a length of 25 and 30 cm was determined, which were compared with real ones. Processing of the obtained results allowed to establish that the results of theoretical studies have an error of 6–10%. It was found that the smallest amount of logs is required for filling a pallet box of size 1.8 RM with logs resulting from splitting the chocks into 4 parts. This is due to the smaller length of the logs (25 cm) and the possibility of providing a more dense installation. The largest volume of voids is observed when laying logs equal to 1/8 part of the chock in a pallet box of standard size 1.8 RM (30) and half logs in a pallet box of standard size 1.8 RM. As a result of the research, coefficients of recalculation of logs in the package into dense cubic meters, which are in the range of 0.664–0.757, were established.

**Key words:** firewood, the study, capacity, the factor, the method of laying, container.

**Введение.** Каминные дрова становятся популярным экспортно-импортным товаром, но в процессе их производства и торговли существует проблема точности обмера (учета) древесины. Как и у всех видов древесных материалов, у дров единицей продажи и оплаты является кубометр (м<sup>3</sup>), редуцированный в плотный кубометр древесины [2–4]. Коэффициент редукации (пересчета) зависит от вида укладки дров, формы поленьев и влажности (соответственно – плотности) древесины [10–13].

Каминные дрова могут укладываться [2, 6] в картонные коробки (рис. 1, а), сетчатые меш-

ки (рис. 1, б) и большие ящики паллетного типа (рис. 2). При этом вопрос теории упаковки товара неправильной формы в стандартизированную транспортную упаковку рассмотрен мало.

Поленья как товар характеризуются своим происхождением, породой, длиной, формой поперечного сечения [4, 5]. При этом в случае транспортировки каминных дров на основе использования международного автотранспорта и морских контейнеров преобладающий объем каминных дров укладывается вручную в паллетные короба, основанные на стандартизированных поддонах.



Рис. 1. Упаковка каминных дров в картонную коробку (а) и сетку (б)



Рис. 2. Упаковка каминных дров в ящики (поддон-короба)

Чтобы точно определить количество дров в различных типах упаковки, выдвинута цель работы: найти метод определения плотности укладки каминных дров в зависимости от формы отдельных поленьев и размеров упаковочных поддонов-коробов.

**Основная часть.** Для исследования рассматривался случай укладки дров на транспортные поддоны вручную в жесткие упаковочные короба с четкими размерами, указанными в табл. 1.

Таблица 1

**Размеры поддонов**

Типоразмер	Размер наружный, м	Размер внутренний, м	Объем-брутто, м <sup>3</sup>
1,0 RM	1,15×1,05×0,8	1,1×1,0×0,8	0,880
1,8 RM	1,15×1,05×1,6	1,1×1,0×1,6	1,760
1,5 RM	1,15×1,22×1,15	1,1×1,0×1,15	1,265
1,8 RM (30)	1,15×0,8×2,1	1,1×0,77×2,1	1,779

Для дальнейшего рассмотрения были выбраны поддоны-короба 1,8 RM и 1,8 RM (30), которые нашли наиболее широкое распространение и характеризуются наибольшим внутренним объемом брутто, который составляет около 1,8 м<sup>3</sup>. Поддон-короб 1,8 RM предназначен для дров длиной 25 см, а 1,8 RM (30) – 30 см.

Кроме длины поленьев варьируемыми являлись площадь поперечного сечения поленьев 50–100 см<sup>2</sup>, которая изменялась в зависимости от формы профиля поленьев (полуполоно, четвертина – 1/4, шестая часть полена – 1/6, восьмая часть полена – 1/8) и диаметр чурок.

Приняв, что форма поленьев идеальна, сбегистость дровяных чурок отсутствует ввиду короткой длины (25 и 30 см), а форма профиля полена неизменная на всем протяжении, для определения объема поленьев использовались основные формулы геометрии [1].

Учитывая особенности производства каминных дров и параметры отдельных поленьев, принято [1, 7–9, 14–16]:

– полупольня производятся из чурок диаметром 8–16 см, а объем одного полена находится по выражению

$$V_{\text{пл}} = \frac{\pi d^2}{8} l,$$

где  $d$  – диаметр дровяной чурки, м;  $l$  – длина полена, м;

– четвертинное полено производится из чурки диаметром 17–22 см, объем которого определяется по формуле

$$V_{\text{пл}} = \frac{\pi d^2}{16} l;$$

– поленья, соответствующие шестой части чурки диаметром 23–28 см, имеют объем, определяемый как

$$V_{\text{пл}} = \frac{\pi d^2}{24} l;$$

– объем поленьев, равных восьмой части чурки (диаметр 29–36 см), соответственно равен

$$V_{\text{пл}} = Sl,$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения поленьев, м<sup>2</sup>.

Учитывая ограничения параметров поленьев, их раскол на восемь частей можно представить в виде двух последовательных операций: раскол чурки на 4 части и последующий раскол каждой из них на две. При этом площадь поперечного сечения четырех поленьев приближена к трапеции, а остальных к треугольнику. Приняв допущение, что площади этих поленьев равны, объем каждого из них можно определить как

$$V_{\text{пл}} = \frac{\pi d^2}{32} l.$$

Полученные результаты расчета объема поленьев из чурок, диаметр которых соответствует середине рассмотренных диапазонов, обобщены в табл. 2 и сравнены с реальными поленьями, объем которых установлен замером физических размеров поленьев соответствующей формы, полученных из чурок аналогичных размеров. По результатам исследований найдена абсолютная и относительная погрешность теоретических результатов.

Таблица 2  
Влияние формы поленьев на их объем

Форма поленьев	Теоретический объем, м <sup>3</sup>	Погрешность	
		м <sup>3</sup>	%
Длина полена 25 см			
Полуполено	0,001413	0,00008478	6,0
1/4	0,001866	0,00012126	6,5
1/6	0,002127	0,00017015	8,0
1/8	0,002591	0,00024616	9,5
Длина полена 30 см			
Полуполено	0,001696	0,00011021	6,5
1/4	0,002239	0,0001679	7,5
1/6	0,002552	0,0002297	9,0
1/8	0,003109	0,00031093	10,0

Чтобы определить количество дровяных поленьев в упаковке и реальный коэффициент пересчета в плотные кубометры древесины, выполнен теоретический расчет возможного количества поленьев и установлено практическое их количество в вышеуказанных поддонах-коробах 1,8 RM и 1,8 RM (30).

На основании значений объема поддонов-коробов 1,8 RM, 1,8 RM (30) (табл. 1) и расчетного объема поленьев (табл. 2) установлено количество поленьев, которое теоретически можно расположить в поддонах-коробах (табл. 3). Для сопоставления результатов исследований с реальными выполнен учет количества поленьев на практике.

Таблица 3  
Число поленьев в поддоне-коробе, шт.

Форма поленьев	Типоразмер поддона	
	1,8 RM	1,8 RM (30)
Теоретически возможное		
Полуполено	1245	833
1/4	943	688
1/6	827	626
1/8	679	473
Практически установленное		
Полуполено	1049	697
1/4	794	572
1/6	697	500
1/8	572	384

После определения числа поленьев в упаковке 1,8 RM и 1,8 RM (30) были установлены коэффициенты пересчета в плотные кубометры древесины для каждой формы поленьев при условии, что в поленице поленья одного вида. Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4  
Коэффициент пересчета поленьев в упаковке в плотные кубометры

Форма поленьев	Длина поленьев	
	25 см	30 см
Полуполено	0,669	0,664
1/4	0,730	0,720
1/6	0,757	0,717
1/8	0,697	0,672

Следует отметить, что наименьший коэффициент пересчета поленьев в упаковке в плотные кубометры соответствует каминным поленьям, полученным в результате деления чурки на 8 частей. Это обусловлено в первую очередь наличием двух различных форм поленьев, что приводит к увеличению пустот между лесоматериалом. Аналогичной является ситуация с полуполеньями, однако следует отметить, что в случае их укладки с поочередным поворотом на 180° обеспечивается увеличение коэффициента пересчета на 5–7%.

При укладке поленьев в поддон-короб допускается погрешность по длине  $\pm 2$  см, что может привести к изменению коэффициента пересчета для поленьев длиной 25 см на 8%, длиной 30 см – на 6,7%.

**Заключение.** Увеличение объема импорта каминных дров в Республике Беларусь и странах балтийского региона привело к потребности повышения точности учета реализуемой древесины. При этом для определения объема древесины используют коэффициент пересчета (коэффициент полнодревесности), который для колотых поленьев лиственных пород длиной 25 и 33 см составляет 0,76 и 0,74 соответственно [10]. При этом на объем древесины, реализуемой в поддонах-коробах, оказывает влияние не только способ укладки, но и параметры поленьев. В результате исследований установлено, что коэффициент пересчета древесины в плотные кубометры изменяется в зависимости от формы поленьев и типоразмера поддона в диапазоне 0,664–0,757. При этом наибольшее его значение соответствует укладке поленьев, полученных делением чурки на 6 частей, так как они имеют практически равные стороны торцевой поверхности, что повышает удобство укладки.

Исследованиями установлено, что укладку полуполеньев, которые имеют наименьший коэффициент пересчета в плотные кубометры, необходимо осуществлять путем поочередного поворота поленьев на 180°, что обеспечивает увеличение плотности укладки

на 5–7%. Также было установлено, что кроме формы поленьев на коэффициент пересчета оказывает влияние погрешность длины, которая приводит к изменению коэффициента для поленьев длиной 25 см на 8%, длиной 30 см – на 6,7%.

### Литература

1. Смирнова И. М., Смирнов В. А. Геометрия. Объемы и площади поверхностей пространственных фигур. М.: Экзамен, 2009. 157 с.
2. Измерение объема дров. URL: [http://www.kadiki-arv.lv/data/files/1251180730\\_microsoft\\_word\\_-\\_malkas\\_merisana2rus.pdf](http://www.kadiki-arv.lv/data/files/1251180730_microsoft_word_-_malkas_merisana2rus.pdf) (дата обращения: 23.02.2019).
3. Как определить куб дров (кубатуру) или объем при покупке. URL: <http://briket.tomsk.ru/kub-drov-raschet.html> (дата обращения: 23.02.2012).
4. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
5. Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транспортировка и сжигание / В. С. Сюнев [и др.]. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 123 с.
6. Давиданс М., Липи́ньш Л., Латвелис Р. Обоснование коэффициента вместимости каминных дров в упаковке // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 20–23.
7. Завойских Г. И., Протас П. А., Лой В. Н. Первичная переработка древесинного сырья на лесозаготовительных предприятиях. Минск: БГТУ, 2010. 133 с.
8. Клоков Д. В., Турлай И. В., Леонов Е. А. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 200 с.
9. Завойских Г. И., Протас П. А., Лой В. Н. Лесоскладское оборудование для первичной переработки и сортировки древесинного сырья. Минск: БГТУ, 2007. 128 с.
10. Дрова. Технические условия: СТБ 1510–2012. Введ. 18.01.2012. Минск: Госстандарт, 2012. 14 с.
11. Лесоматериалы круглые. Методы измерения размеров и определения объема: СТБ 1667–2012. Введ. 01.07.2012. Минск: Госстандарт, 2012. 18 с.
12. Лесоматериалы круглые. Правила приемки, методы контроля, сортировка, маркировка и транспортирование: СТБ 2426–2015. Введ. 28.08.2015. Минск: Госстандарт, 2015. 8 с.
13. Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов: ГОСТ 2708–75. Введ. 17.12.1992. Минск: Госстандарт, 2013. 20 с.
14. Залегаллер Б. Г., Ласточкин П. В., Бойков С. П. Технология и оборудование лесных складов. М.: Лесная пром-сть, 1984. 352 с.
15. Машины и оборудование лесозаготовок / Е. И. Миронов [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1990. 440 с.
16. Шелгунов Ю. В., Горюнов А. К., Ярцев И. В. Лесоэксплуатация и транспорт леса. М.: Лесная пром-сть, 1989. 520 с.

### References

1. Smirnova I. M., Smirnov V. A. *Geometriya. Ob'yomy i ploshchadi poverkhnostey prostranstvennykh figur* [Geometry. Volumes and surface areas of spatial figures]. Moscow, Ekzamen Publ., 2009. 157 p.
2. *Izmereniye ob'yoma drov* [Measurement of firewood]. Available at: [http://www.kadiki-arv.lv/data/files/1251180730\\_microsoft\\_word\\_-\\_malkas\\_merisana2rus.pdf](http://www.kadiki-arv.lv/data/files/1251180730_microsoft_word_-_malkas_merisana2rus.pdf) (accessed 23.02.2019).
3. *Kak opredelit' kub drov (kubaturu) ili ob'yom pri pokupke* [How to determine the cube of firewood (cubic capacity) or volume when buying]. Available at: <http://briket.tomsk.ru/kub-drov-raschet.html> (accessed 23.02.2019).
4. Nikishov V. D. *Kompleksnoye ispol'zovaniye drevesiny* [Comprehensive use of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 264 p.
5. Syunyov V. S., Petukhin A. V., Vasil'yev S. B., Galaktionov O. N., Kuznetsov A. V., Seliverstov A. A., Sukhanov Yu. V., Kholodkov V. S. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnoy biomassy: zagotovka, transportirovka i szhiganiye* [Energy use of woody biomass: harvesting, transportation and burning]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2014. 123 p.
6. Davidans M., Lipin'sh L., Latvelis R. Justification of the capacity ratio of firewood in the package. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 20–23 (In Russian).
7. Zavoyskikh G. I., Protas P. A., Loy V. N. *Pervichnaya pererabotka drevesinnogo syria na lesozagotovitel'nykh predpriyatiyakh* [Primary processing of raw wood at logging enterprises]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 133 p.



8. Klokov D. V., Turlay I. V., Leonov E. A. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Laboratornyy praktikum* [Equipment for timber industry enterprises. Laboratory practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 200 p.

9. Zavoysskikh G. I., Protas P. A., Loy V. N. *Lesoskladskoye oborudovaniye dlya pervichnoy pere-rabotki i sortirovki drevesinnogo syr'ya* [Lumberyard equipment for primary processing and sorting of raw wood]. Minsk, BGTU Publ., 2007. 128 p.

10. STB 1510–2012. Firewood. Technical conditions. Minsk, Gosstandart Publ., 2012. 14 p. (In Russian).

11. STB 1667–2012. Timber round. Methods for measuring dimensions and determining volume. Minsk, Gosstandart Publ., 2012. 18 p. (In Russian).

12. STB 2426–2015. Timber round. Acceptance rules, control methods, sorting, marking and transportation. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 8 p. (In Russian).

13. GOST 2708–75. Timber round. Volume Tables. Minsk, Gosstandart Publ., 2013. 20 p. (In Russian).

14. Zalegaller B. G., Lastochkin P. V., Boykov S. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesnykh skladov* [Technology and equipment of timber warehouses]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 352 p.

15. Mironov E. I., Rokhlenko D. B., Belovzorov L. N., Matveyenko L. S., Kulagin Yu. M. *Mashiny i oborudovaniye lesozagotovok* [Logging machines and equipment]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 440 p.

16. Shelgunov Yu. V., Goryunov A. K., Yartsev I. V. *Lesoekspluatatsiya i transport lesa* [Forest exploitation and forest transport]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 520 p.

### Информация об авторах

**Давиданс Марис** – магистр технических наук, преподаватель кафедры лесопользования. Латвийский сельскохозяйственный университет (LV-3001, г. Елгава, ул. Лиела, 2, Латвийская Республика). E-mail: maris.davidans@llu.lv

**Савельев Александр** – доктор технических наук, доцент кафедры лесопользования. Латвийский сельскохозяйственный университет (LV-3001, г. Елгава, ул. Лиела, 2, Латвийская Республика). E-mail: silvasav@inbox.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

**Липиньш Леонард** – доктор технических наук, профессор кафедры лесопользования. Латвийский сельскохозяйственный университет (LV-3001, г. Елгава, ул. Лиела 2, Республика Латвия). E-mail: leonards.lipins@llu.lv

**Симанович Василий Антонович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

### Information about the authors

**Davidans Maris** – Master of Engineering, lecturer, the Department of Forest Management. Latvian University of Agriculture (2, Liela str., LV-3001, Jelgava, Republic of Latvia). E-mail: maris.davidans@llu.lv

**Saveljev 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

**Ariko Sergey Yevgen'evich** – 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

**Lipins Leonard** – DSc (Engineering), Professor, the Department of Forest Management. Latvian University of Agriculture (2, Liela str., LV-3001, Jelgava, Republic of Latvia). E-mail: leonards.lipins@llu.lv

**Simanovich Vasily Antonovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Поступила 11.03.2019

УДК 620.95:662.638

**А. Савельев<sup>1</sup>, С. Е. Арико<sup>2</sup>, П. А. Протас<sup>2</sup>, Я. Петерсонс<sup>3</sup>, А. Зимелис<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Латвийский сельскохозяйственный университет<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>3</sup>ГАО «Латвийские государственные леса»<sup>4</sup>Латвийский государственный лесохозяйственный исследовательский институт «Силава»**СТРУКТУРНЫЙ БАЛАНС ЛЕСНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ  
ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ БЕЛАРУСИ И ЛАТВИИ**

Развитие энергетики Беларуси и Латвии направлено на увеличение объемов использования местных видов энергоресурсов, в первую очередь возобновляемых. Это обусловило повсеместное строительство мини-ТЭЦ и котельных на биомассе, основным сырьем для которых является топливная щепа, полученная из дровяной древесины и отходов деревообработки. При этом потенциальным дополнительным сырьем в топливно-энергетическом балансе является щепа из отходов лесозаготовок, пней древесины и тонкомерных деревьев, заготавливаемых при очистке и содержании лесных дорог. Вовлечение в производство данного сырья будет также способствовать повышению эффективности лесовосстановления и работ по содержанию лесной инфраструктуры. Различные показатели теплотворной способности данных видов сырья для эффективной работы энергетических установок обуславливают необходимость определения рационального состава древесного сырья для производства топливной щепы. Разработанная методика оценки структурного баланса лесных энергоресурсов позволяет рассчитать теплотворную способность топливной щепы из различных компонентов древесного сырья и определить необходимый объем древесного энергетического сырья для соответствующих энергетических установок. Данная методика также позволяет при известном объеме и установленных характеристиках сырья для энергетической установки определить рациональный структурный баланс древесного сырья для получения топливной щепы.

**Ключевые слова:** лесные ресурсы, древесное топливо, структурный баланс, щепа, котельная установка, методика.

**A. Saveljev<sup>1</sup>, S. Ye. Ariko<sup>2</sup>, P. A. Protas<sup>2</sup>, J. Petersons<sup>3</sup>, A. Zimelis<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Latvia University of Agriculture<sup>2</sup>Belarusian State Technological University<sup>3</sup>Joint Stock Company “Latvia’s State Forest”<sup>4</sup>Latvian State Forest Research Institute “Silava”**STRUCTURAL BALANCE OF FOREST ENERGY RESOURCES  
FOR ENERGY OF BELARUS AND LATVIA**

The development of the energy sector of Belarus and Latvia is aimed at increasing the use of local types of energy resources, primarily renewable ones. This led to the ubiquitous construction of mini-TPP (thermal power plant) and biomass boiler houses, the main raw material for which is fuel chips obtained from firewood and wood waste. At the same time, potential additional raw materials in the fuel and energy balance are chips from logging waste, wood and small-sized trees harvested during the cleaning and maintenance of forest roads. The involvement in the production of this raw material will also contribute to the improvement of the efficiency of reforestation and the maintenance of forest infrastructure. Given the various indicators of the calorific value of these types of raw materials for the efficient operation of power plants, it is necessary to determine the rational composition of wood raw materials for the production of fuel chips. The developed methodology for assessing the structural balance of forest energy resources makes it possible to calculate the calorific value of fuel chips from various components of raw wood and determine the required volume of wood energy raw materials for the respective power plants. With a known volume and established characteristics of the raw materials for the power plant, this method also allows determining the rational structural balance of the wood raw material for producing fuel chips.

**Key words:** forest resources, wood fuel, structural balance, chips, boiler plant, methods.

**Введение.** Беларусь, как и Латвия, в значительной степени зависит от импорта энергоносителей, преимущественно нефти и природного газа, для производства тепловой и электриче-

ской энергии [1]. Это обстоятельство, а также существенные цены на импортируемый природный газ обуславливают необходимость развития использования местных энергоресурсов.

Правительствами Республики Беларусь и Республики Латвия устанавливаются цели по увеличению использования местных, в том числе возобновляемых источников энергии [2, 3].

В связи с тем, что Беларусь и Латвия имеют лесистость соответственно около 40 и более 50% [4, 5], долю лесного сектора в структуре ВВП около 2 и 6% [6] и являются одними из богатейших стран в Европе по запасу древесины на душу населения, в последнее время большое внимание уделяется использованию древесных видов топливных ресурсов [7–9]. Анализ методов подготовки и применения древесных видов топлива, используемых при этом технологий сжигания, котельного оборудования, систем контроля и управления производственным процессом свидетельствует о том, что при производстве тепловой и электрической энергии путем сжигания древесного биотоплива первоочередное внимание необходимо уделять производству и потреблению топливной щепы [10]. Накопленный опыт и практика показывают, что потребление древесных энергоресурсов в виде топливной щепы обеспечивает наиболее эффективное их использование как с технической, так и экономической точек зрения.

Известно, что древесное сырье для энергетических нужд является возобновляемым сырьем и оказывает положительный баланс с точки зрения сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу. Республика Беларусь ежегодно производит около 1,8 млн м<sup>3</sup> топливной щепы [4] с собственным ее потреблением на местных котельных и мини-ТЭЦ около 1,6 млн м<sup>3</sup>. Основным сырьем для производства топливной щепы являются дровяная древесина и отходы деревообработки.

В Латвии ежегодный объем заготовки древесного сырья для энергетических нужд составил около 1,5 млн м<sup>3</sup>, при этом 0,5 млн м<sup>3</sup> заготавливается на рубках главного пользования только в государственных лесах.

Источниками древесного сырья для энергетических нужд являются: лесной фонд; отходы производств пиломатериалов, плит и целлюлозы; вторично использованная древесина. Соответственно, древесное топливо, произведенное из различного сырья, отличается по своим характеристикам. Чтобы работа котельных агрегатов и когенерационных установок была эффективной, предъявляются определенные требования к древесному топливу. Поэтому необходимо определить оптимальный вид топлива в сфере планирования объемов заготовки древесного сырья для энергетических нужд.

Известны различные методы оценки общего потенциала древесного энергетического сырья в лесном фонде. Однако не решен вопрос, в ка-

кой ежегодной пропорции необходимо заготавливать сырье различных видов для производства топливной щепы: порубочные остатки, нетоварная древесина, пневая древесина.

*Целью работы* является определение рационального сочетания древесного энергетического сырья в топливе котлоагрегатов, работающих в оптимальном режиме.

**Основная часть.** Наиболее важным источником древесного сырья для получения топливной щепы является лесной фонд, при освоении которого кроме дровяной древесины образуются различные виды древесных отходов:

- порубочные остатки лесозаготовок;
- нетоварная древесина после очистки трасс и дорожной инфраструктуры;
- пневая древесина.

Каждый из этих видов древесного сырья имеет свою теплотворную способность (табл. 1).

Таблица 1

## Теплотворная способность древесного сырья

Вид древесного сырья	Теплотворная способность, МДж/кг
Щепа из лесосечных отходов	17,26
Щепа из тонкомерных деревьев	18,93
Щепа из пнево-корневой древесины	20,44

Котлоагрегаты различных тепловых и когенерационных станций, работающие на топливной щепе из приведенного древесного сырья, имеют оптимальные требования при эксплуатации, в общем виде включающие: скорость потока пара 25 кг/с; температуру пара 527°C; давление пара 119 бар; температуру горения топлива 850–1000°C; минимально допустимую нагрузку 35% мощности.

На основании эксплуатационных требований котлоагрегатов и полученного сочетания видов сырья в древесном энергетическом топливе можно планировать объем заготовки этого сырья с учетом административных регионов (наличия лесфонда и его характеристик, объемов заготовки, расположения энергообъектов и их мощности и др.).

*Методика работы.* Зная мощность энергетических установок, можно определить, какое количество древесного сырья покроет потребность теплоустановки за час работы:

$$M = \frac{\sum N}{t}, \quad (1)$$

где  $M$  – объем потребленного древесного энергетического сырья, кг/с;  $\sum N$  – суммарная мощность тепловой и когенерационной установки, работающей на древесном топливе, МВт;

$t$  – рабочая теплотворная способность древесного сырья, МДж/кг.

Объем сырья в плотных метрах кубических в час определяется с учетом переводного коэффициента насыпной плотности (для щепы из лесосечных отходов 250–400 кг/м<sup>3</sup>; в среднем 320 кг/м<sup>3</sup>).

Однако при оценке ресурсов древесного топлива необходимо учитывать, что в ряде административных районов республик объемы производства топливной щепы из лесосечных отходов, которые планируется получать при заготовке деловых лесоматериалов, не достаточны для полного покрытия всей суммарной мощности котлоагрегатов на данных территориях. Соответственно, необходимо обоснование требуемого количества заготавливаемого древесного сырья в виде нетоварной древесины при содержании лесной инфраструктуры и пневой древесины после лесозаготовки. Кроме того, учитывая большой диапазон значений в насыпной плотности и теплотворной способности щепы, получаемой из различных видов древесного сырья, необходимо определять рациональное сочетание этих видов сырья в структуре производства щепы. Схематически данную задачу можно отобразить в виде блок-схемы (рисунок).

Для расчета теплового баланса по разработанной методике следует учитывать, что теплотворный баланс будет состоять из двух частей:

- тепловая мощность котлоагрегата, с коррекцией КПД (тепловые потери на выброс газов, несгоревшее топливо, на собственный обогрев);
- деловая тепловая мощность на производство пара нужных температуры и давления для поддержания температуры потребляемого теплоносителя (воды).

Тепловой баланс выражается формулой

$$B_p Q \eta = D_t (t_t - t_u), \quad (2)$$

где  $B_p$  – потребление топлива в единицу времени, кг/час;  $Q$  – теплоотдача топлива, МДж/кг;  $\eta$  – коэффициент полезного действия;  $D_t$  – потребление теплоносителя, кг/час;  $(t_t - t_u)$  – необходимая мощность тепловой энергии, чтобы

теплоноситель довести до нужных давления и температуры, МДж/кг.

С использованием в формуле (3) постоянной числа Больцмана определяется связь между температурой и энергией:

$$\frac{q \phi B_p V_c}{\sigma_0 \phi_{cp} F_{ct} t_0} = B_0, \quad (3)$$

где  $q$  – потеря теплоты самим котлоагрегатом;  $\phi$  – коэффициент сохранения теплоты,  $\phi = 1$ ;  $B_p$  – расчетный расход топлива, кг/ч;  $V_c$  – средняя суммарная теплоемкость продукта горения, 1 кг в интервале температур;  $\sigma_0$  – коэффициент излучения черного тела,  $5,67 \cdot 10^{-11}$  кВт/м<sup>2</sup>;  $\phi_{cp}$  – тепловая эффективность экранов;  $F_{ct}$  – площадь поверхности стенок топки, м<sup>2</sup>;  $t_0$  – температура горения топлива в топке, 950°С;  $B_0$  – постоянная числа Больцмана,  $1,38 \cdot 10^{23}$ .

Из этой формулы можно вычислить расход топлива по формуле (4):

$$B_p = \frac{B_0 \sigma_0 \phi_{cp} F_{ct} t_0}{q \phi V_c}. \quad (4)$$

В случае расчета объема *древесного топлива на основании его энергетического содержания* определяется теплотворная способность древесного топлива по формуле

$$Q_n^p = Q_n^{cux} \frac{(100 - W^p)}{100} - 0,02443 W^p, \quad (5)$$

где  $Q_n^p$  – низшая теплота сгорания древесного топлива с влажностью  $W^p$ , %, и известным компонентным составом, МДж/кг;  $Q_n^{cux}$  – низшая теплота сгорания абсолютно сухого древесного топлива с известным компонентным составом, МДж/кг. Определяется по методике, изложенной в EN 14918, EN ISO 18125, EN ISO 17225-1, ISO 1928, ГОСТ 147-2013; 0,02443 – коэффициент, который рассчитывается исходя из теплоты испарения воды, 2,443 МДж/кг для температуры 25°С (МДж/кг на 1% массы влаги).

Для определения низшей теплоты сгорания древесного топлива необходимы следующие исходные данные:

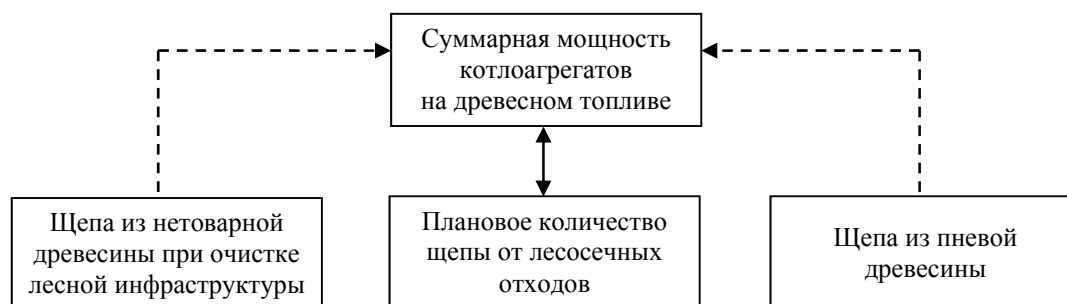


Схема использования топливной щепы различного происхождения

– компонентный состав топлива с указанием удельной доли наличия в процентах породы и частей дерева, например: сосна (древесина ствола без коры) – 30%; сосна (кора) – 10%; сосна (хвоя) – 5%; ель (стволовая древесина, тонкомер) – 35%; осина (стволовая древесина, тонкомер) – 20%. Итого 100%;

– относительная влажность  $W^p$ , %, например 48%;

– наличие минеральных (негорючих) примесей  $A^p$ , % по весу, например 2%.

Расчет величины низшей теплоты сгорания натурального топлива может производиться на основе известных данных по значениям низшей теплоты сгорания сухих древесных веществ различных пород [11, 12].

Низшую теплоту сгорания абсолютно сухого древесного топлива с известным компонентным составом  $Q_n^{сух}$ , МДж/кг, находят по формуле

$$Q_n^{сух} = \frac{Q_{n1}^{сух} \cdot P_1 + Q_{n2}^{сух} \cdot P_2 + \dots + Q_{nn}^{сух} \cdot P_n}{100}, \quad (6)$$

где  $Q_{n1}^{сух}$ ,  $Q_{n2}^{сух}$ , ...,  $Q_{nn}^{сух}$  – соответствующие величины низшей теплоты сгорания сухих древесных веществ компонентов анализируемого топлива, МДж/кг;  $P_1$ ,  $P_2$ , ...,  $P_n$  – соответствующий процентный состав компонентов топлива, %. Значения величин  $Q_{n1}^{сух}$ ,  $Q_{n2}^{сух}$ , ...,  $Q_{nn}^{сух}$  для каждого из компонентов топливной массы  $P_1$ ,  $P_2$ , ...,  $P_n$  могут приниматься по данным табл. 2 [12].

Таблица 2

**Показатели теплотворной способности в абсолютно сухом состоянии для незагрязненного материала**

Вид сырья	$Q_n^{сух}$ , МДж/кг
Естественный древесный материал (хвойная древесина), без коры, листьев и хвои	19,1
Естественный древесный материал (лиственная древесина), без коры, листьев и хвои	18,9
Естественный материал с корой (хвойная древесина)	19,2
Естественный материал с корой (лиственная древесина)	19,0
Лесосечные отходы (хвойная древесина)	19,2
Лесосечные отходы (лиственная древесина)	18,7

Влияние количества минеральных негорючих примесей в топливе (зольности топлива) на его теплотворную способность может быть

учтено внесением поправки в формулу (5), как показано ниже:

$$Q_n^p = Q_n^{сух} \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} - 0,02443W^p, \quad (7)$$

где  $A^p$  – содержание минеральных примесей (содержание золы в расчете на рабочую массу) в топливе, %.

Зная теплотворную способность используемого древесного топлива (топливной щепы) с учетом его компонентов, а также суммарную мощность тепловой и когенерационной установки, работающей на древесном топливе, можно по формулам (1) и (2) получить необходимый объем потребленного древесного энергетического сырья и структурный баланс древесного сырья для получения топливной щепы.

**Заклучение.** Учитывая возрастающую роль в энергетике Беларуси и Латвии использования возобновляемых источников энергии и, в первую очередь, древесного топлива, актуальной задачей является вовлечение в сферу производства топливной щепы различного древесного сырья: дровяной и тонкомерной древесины, лесосечных отходов, пней. Анализ характеристик топливной щепы, получаемой из различного древесного сырья, показал, что для эффективной работы энергетических установок необходимо определить рациональный структурный баланс лесных древесных ресурсов для производства щепы. Разработанная методика определения рационального сочетания древесного энергетического сырья при производстве топливной щепы для котлоагрегатов, работающих в оптимальном режиме, позволяет рассчитать теплотворную способность топливной щепы с учетом компонентов древесного сырья для ее производства и определить необходимый объем древесного энергетического сырья. Данная методика также позволяет решать обратную задачу: при известном объеме и установленных характеристиках сырья для энергетической установки определить рациональный структурный баланс древесного сырья для получения топливной щепы.

Использование предлагаемого подхода при организации производства топливной щепы позволит улучшить качество древесного топлива путем обеспечения рациональной структуры древесного сырья в производстве топливной щепы, а также повысить эффективность процессов получения тепловой и электрической энергии на энергообъектах.

### Литература

1. Ледницкий А. В. Экономическая эффективность выработки тепловой и электрической энергии при сжигании древесного топлива // Труды БГТУ. 2016. № 7: Экономика и управление. С. 82–86.

2. Sustainable Development Strategy of Latvia until 2030. URL: [http://www.pkc.gov.lv/sites/default/files/inline-files/LIAS\\_2030\\_en\\_1.pdf](http://www.pkc.gov.lv/sites/default/files/inline-files/LIAS_2030_en_1.pdf) (дата обращения: 10.02.2019).

3. Об утверждении концепции энергетической безопасности Республики Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 дек. 2015 г., № 1084 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. 2016. 5/41477.

4. Демьяник Л. Ю., Шут В. П., Худицкая М. А. Современное состояние лесопромышленного производства в организациях министерства лесного хозяйства Республики Беларусь // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2017. С. 15–19.

5. Eco-innovation in Cyprus. EIO Country Profile 2014–2015. URL: [https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/ecoap\\_stayconnected/files/field/field-country-files/cyprus\\_eco-innovation\\_2015.pdf](https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/ecoap_stayconnected/files/field/field-country-files/cyprus_eco-innovation_2015.pdf) (дата обращения: 03.02.2019).

6. State of Europe's forests. URL: <https://www.foresteurope.org/docs/fullsoef2015.pdf> (дата обращения: 03.02.2019).

7. Войтов И. В., Ледницкий А. В. Современное состояние и перспективы использования древесного топлива в Республике Беларусь // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2017. С. 9–14.

8. Fortum Biomasas kogenerācijas stacija Jelgava. URL: <https://www.fortum.lv/par-fortum/kontakti/fortum-biomasas-kogenerācijas-stacija-jelgava> (дата обращения: 07.02.2019).

9. Biomasas izmantosanas ilgtspējības kritēriju pielietosana un pasakumu izstrade. URL: [https://www.lvafa.gov.lv/faili/petijumi/Biomasas\\_izmantosana.pdf](https://www.lvafa.gov.lv/faili/petijumi/Biomasas_izmantosana.pdf) (дата обращения: 09.02.2019).

10. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.

11. Alakangas E. Properties of wood fuels used in Finland. Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, Project report PRO2/P2030/05 (Project C5SU00800). Jyväskylä, 2005. 90 p.

12. Solid biofuels – Fuel specifications and classes: EN ISO 17225-1:2014. Part 1: General requirements. Stockholm: ISO, 2014. 66 p.

## References

1. Lednitskiy A.V. Economic efficiency of heat and power generation when burning wood fuel. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 7: Economics and Management, pp. 82–86 (In Russian).

2. Sustainable Development Strategy of Latvia until 2030. Available at: [http://www.pkc.gov.lv/sites/default/files/inline-files/LIAS\\_2030\\_en\\_1.pdf](http://www.pkc.gov.lv/sites/default/files/inline-files/LIAS_2030_en_1.pdf) (accessed 10.02.2019).

3. On approval of the concept of energy security of the Republic of Belarus: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, 23.12.2015, no. 1084. *Natsional'nyy pravovoy internet-portal Respubliki Belarus* [National legal Internet portal of the Republic of Belarus], 01/01/2016, 5/41477.

4. Dem'yanik L. Yu., Shut V. P., Khuditskaya M. A. Current condition of forest industrial production in the organizations of the Ministry of Forestry the Republic of Belarus. *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. 15–19 (In Russian).

5. Eco-innovation in Cyprus: EIO Country Profile 2014–2015. Available at: [https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/ecoap\\_stayconnected/files/field/field-country-files/cyprus\\_eco-innovation\\_2015.pdf](https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/ecoap_stayconnected/files/field/field-country-files/cyprus_eco-innovation_2015.pdf) (accessed 03.02.2019).

6. State of Europe's forests. Available at: <https://www.foresteurope.org/docs/fullsoef2015.pdf> (accessed 03.02.2019).

7. Voitau I. V., Lednitskiy A. V. Current and prospective uses of wood fuel in the Republic of Belarus. *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. 9–14 (In Russian).

8. Fortum Biomasas kogenerācijas stacija Jelgava [Fortum Biomass Cogeneration Station Jelgava]. Available at: <https://www.fortum.lv/par-fortum/kontakti/fortum-biomasas-kogenerācijas-stacija-jelgava> (accessed 07.02.2019).

9. Biomasas izmantosanas ilgtspējības kritēriju pielietosana un pasakumu izstrade [Applying sustainability criteria for biomass use and developments]. Available at: <https://www.fortum.lv/par-fortum/kontakti/fortum-biomasas-kogenerācijas-stacija-jelgava> (accessed 09.02.2019).

10. Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V. *Energeticheskoye ispol'zovaniye nizekachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 446 p.
11. Alakangas E. Properties of wood fuels used in Finland. Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, Project report PRO2/P2030/05 (Project C5SU00800), Jyväskylä, 2005. 90 p.
12. EN ISO 17225-1:2014. Solid biofuels – Fuel specifications and classes. Part 1: General requirements. Stockholm, ISO, 2014. 66 p.

### Информация об авторах

**Савельев Александр** – доктор технических наук, доцент кафедры лесопользования. Латвийский сельскохозяйственный университет (LV-3001, г. Елгава, ул. Лиела, 2, Латвийская Республика). E-mail: silvasav@inbox.lv

**Арико Сергей Евгеньевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

**Протас Павел Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: protas77@rambler.ru

**Петерсонс Янис** – доктор технических наук, ведущий специалист. ГАО «Латвийские государственные леса» (LV-1004, г. Рига, ул. Вайнодес, 1, Латвийская Республика). E-mail: agris.zimelis@llu.lv

**Зимелис Агрис** – магистр технических наук, ведущий специалист. Латвийский государственный лесохозяйственный исследовательский институт «Силава» (LV-2169, г. Саласпилс, ул. Ригас, 111, Латвийская Республика). E-mail: agris.zimelis@llu.lv

### Information about the authors

**Saveljev 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

**Ariko Sergey Yevgen'evich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

**Protas Pavel Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: protas77@rambler.ru

**Janis Petersons** – DSc (Engineering), Leading Specialist. Joint Stock Company “Latvia’s State Forest” (1, Vainodes str., LV-1004, Riga, Republic of Latvia). E-mail: silvasav@inbox.lv

**Zimelis Agris** – Master of Engineering, Leading Specialist. Latvian State Forest Research Institute “Silava” (111, Rigas str., LV-2169, Salaspils, Republic of Latvia). E-mail: agris.zimelis@llu.lv

Поступила 11.03.2019

УДК 630.00

**Н. В. Хорошун<sup>1</sup>, М. Т. Насковец<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь<sup>2</sup> Белорусский государственный технологический университет**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА  
ДЛЯ СКАШИВАНИЯ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ**

Статья включает краткий обзор исследований, направленных на совершенствование технологий и оборудования для удаления древесно-кустарниковой растительности при содержании и обслуживании объектов лесохозяйственных дорог. Особое внимание уделено отечественному оборудованию для выполнения этих операций при непрерывном движении.

В статье обоснована конструкция усовершенствованного трапециевидного ножа для скашивания древесно-кустарниковой растительности, позволяющая устранить недостатки серийно устанавливаемых ножей, увеличить срок их работы, межзаточные временные интервалы и уменьшить непроизводительные временные и ресурсные затраты.

**Ключевые слова:** лесохозяйственные дороги, машины и оборудование, деревья, кусты, очистка объектов.

**N. V. Khoroshun<sup>1</sup>, M. T. Naskovets<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Ministry of Forestry of the Republic of Belarus<sup>2</sup> Belarusian State Technological University**JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE WORKING BODY  
FOR CUTTING WOODY AND BUSH VEGETATION**

The article includes a brief review of research aimed at improving technology and equipment for removing trees and bushes in the maintenance and service of forest roads. Particular attention is devoted to domestic equipment to perform these operations in continuous motion.

The article substantiates the design of an improved trapezoidal knife for cutting trees and bushes to vegetation, the drawbacks of serially installed knives, increase their lifespan, inter-cutting time intervals and reduce non-productive time and resource costs.

**Key words:** forestry roads, machinery and equipment, trees, bushes, cleaning of objects.

**Введение.** Древесно-кустарниковая растительность (ДКР) создает помехи при движении транспорта по лесохозяйственным дорогам, снижает безопасность дорожного движения, мешает проведению работ по заготовке древесины.

Удаляют ДКР механическими и химико-механическими способами. К способам механического удаления ДКР относят срезку, вырубку, корчевание, фрезерование и мульчирование.

Выбор способа уничтожения древесно-кустарниковой растительности зависит от высоты, диаметра и породного состава деревьев и кустарников, типа почвы и иных факторов.

Наиболее рационален раздельный способ удаления ДКР, при котором вначале срезают надземную часть растительности, а затем при необходимости выкорчевывают пни и корни.

При раздельном способе надземную часть ДКР утилизируют для получения различных строительных материалов, химических веществ, древесного топлива и др.

Для срезания ДКР лучше использовать кусторезы с активными рабочими органами роторного типа. Наилучшее качество срезки до-

стигается в осенне-зимний период при промерзании почвы на глубину 15–20 см [1–3].

Срезка кустарника позволяет меньше нарушать гумусовый слой, поскольку ее выполняют по мерзлому грунту, срезанная древесина свободна от земли и может быть переработана в древесную щепу. Качество срезки при проведении ее в зимнее время значительно выше, так как при этом выкорчевываются только единичные стволы.

**Основная часть.** Технология применения кусторезной машины роторного типа предусматривает работу во все сезоны года и срезание различных пород древесно-кустарниковой растительности. Отметим также, что механические свойства ДКР отличаются от свойств уже сформировавшейся древесины той же породы.

Контент-анализ литературных источников, позволил установить, что в зависимости от диаметра срезаемой ДКР процесс работы роторного кустореза включает три режима срезания:

1) легкий режим – срезание мелкого кустарника (диаметр стволов до 3,0 см);



2) средний режим – срезание крупного кустарника (диаметр стволов от 3,1 до 6,0 см);

3) тяжелый режим – срезание деревьев (диаметр стволов от 6,1 до 10,0 см) [4, 5, 6].

Работа с мелким кустарником не вызывает значительных нагрузок на срезающий орган. Для полного срезания стволов мелкого кустарника выявлено, что угловая скорость вращения ротора должна составлять не менее  $120 \text{ с}^{-1}$ . В зависимости от нагрузок ножи работают или в режиме «свободного вращения» на своих осях, или в режиме «упора», когда тыльная сторона ножа опирается на упорный вкладыш. При снижении нагрузки ножи сходят с упора и работают в режиме свободного вращения на осях [7–9].

Проведенный анализ существующих машин для удаления древесно-кустарниковой растительности выявил, что наибольший интерес для исследований представляет косилка ротационная дорожная КРД-1,5, производства ОАО «Мозырский машиностроительный завод».

Данное оборудование производится серийно и имеет большую производительность в сравнении с остальными, обладает еще одним преимуществом – не только срезает, но и измельчает ДКР одним и тем же рабочим органом. Одновременно косилка ротационная дорожная КРД-1,5 имеет аппарат режущий К-1.01.00.000, являющийся основным рабочим органом, и головку режущую ГР1 – дополнительный рабочий орган.

Работу косилок с шарнирно прикрепленными к дискам ножами изучали В. М. Мартынов, Н. Е. Резник, Е. И. Мажугин, С. Г. Рубец, А. В. Пашкевич и другие ученые [7]. Данная проблема также исследовалась в ряде диссертационных работ [10–12]. Отечественные ученые выявили, что у современных многороторных косилок срезание растительности является косым или скользящим. При этом возникающая на режущей кромке ножа сила трения, направленная вдоль этой кромки, будет способствовать отклонению ножа от радиального положения. Уменьшение отклоняющего момента обеспечивается применением ножей, запатентованной авторами формы (рис. 1) [4].

Рубцом С. Г. предложено, чтобы режущие кромки ножей были расположены радиально по отношению к отверстию для болта крепления ножа к диску и выполнены расширяющимися к периферии, а внешняя торцовая кромка изготовлена по дуге окружности с центром, совпадающим с центром ротора. Выступающая за пределы ротора часть ножа имеет форму, близкую к форме равнобедренной трапеции. Впоследствии ножи данной формы были названы трапециевидными ножами [7].

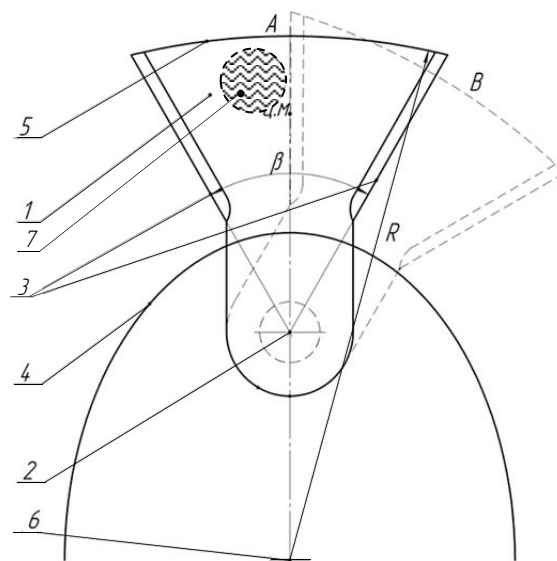


Рис. 1. Трапециевидный нож роторной косилки Рубца С. Г.:  
1 – пластина; 2 – отверстие для болта;  
3 – режущие кромки; 4 – ротор;  
5 – торцовая кромка ножа;  
6 – ось вращения ротора; 7 – срезанный ствол

Вращающийся вместе с ротором 4 нож 1 благодаря действию центробежных сил располагается в радиальном положении А. При встрече с растительностью нож срезает ее заостренной режущей кромкой 3. Возникающая при этом сила сопротивления, действующая на режущую кромку со стороны растительности, отклоняет нож назад против направления вращения к положению В. Возникающее скольжение режущей кромки по скашиваемой растительности не приводит к увеличению отклонения ножа, так как сила трения расположенной радиально по отношению к центру болта крепления режущей кромки о растительность не создает отклоняющего нож момента вследствие того, что плечо силы трения относительно центра отверстия 2 в пластине равно нулю [7, 13].

Благодаря тому, что выступающая за пределы диска трапециевидная часть ножа выполнена с расширением к периферии, центр масс ножа также смещен к периферии, что увеличивает плечо центробежной силы, действующей на нож, и стабилизирует его положение. Во избежание трения торцовой кромки 5 о нескошенную растительность кромка изготовлена по дуге окружности с центром, совпадающим с центром ротора, и при срезании растительности некоторое отклонение ножа приводит к соответствующему повороту внешней кромки и удалению задней ее части от несрезанной растительности.

Рубцом С. Г. установлено, что нож предлагаемой конструкции в процессе срезания будет

отклоняться на меньшую величину по сравнению с ножом прямоугольной формы. В результате научно-практических экспериментов по исследованию процесса скашивания древесно-кустарниковой растительности многороторной косилкой с трапециевидными ножами Рубцом С. Г. были установлены рациональные интервалы варьирования факторов при скашивании ДКР, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры факторов, влияющих на скашивание древесно-кустарниковой растительности**

Наименование фактора	Обозначение фактора	Рациональный интервал варьирования	Оптимальное значение
Угол расхождения режущих кромок ножей, град	$\beta$	60–70	65
Угол заострения режущих кромок ножей, град	$\alpha$	20–25	20
Поступательная скорость перемещения режущего аппарата косилки, м/с	$v_n$	0,8–1,0	0,8–1,0
Частота вращения роторов с ножами, мин <sup>-1</sup>	$n$	1500–1900	1600

Ножи косилки ротационной дорожной КРД-1,5 производства ОАО «Мозырский машиностроительный завод», представляют собой прямоугольные пластины, выполненные из стали 65Г. В свою очередь ОАО «Лидсельмаш» производит нож с аналогичными характеристиками.

Недостатком данных ножей является довольно быстрый износ режущих кромок, что влияет на качество и эффективность работы косилки и требует периодической их заточки. Как правило, заточка ножей выполняется в

мастерских на специализированных заточных станках, находящихся на удаленных расстояниях от мест работы агрегата, что вызывает непроизводительные временные и ресурсные затраты.

На основании проведенных исследований предлагается конструкция усовершенствованного ножа, позволяющая устранить отмеченный недостаток серийно устанавливаемых ножей, увеличить срок их работы, межзаточные временные интервалы и уменьшить непроизводительные временные и ресурсные затраты.

Предлагаемый для ротационных косилок сконструированный усовершенствованный нож, изображенный на рис. 2, представляет собой сборную конструкцию, состоящую из основания 1 и двух режущих накладок 2. Основание выполнено в виде, близкой к форме равнобедренной трапеции с шестью резьбовыми отверстиями 4, в которые закручиваются винты 3, крепящие режущие накладки с плакирующим слоем 2.

Отличительные характеристики серийно выпускаемого и сконструированного усовершенствованного ножа приведены в табл. 2.

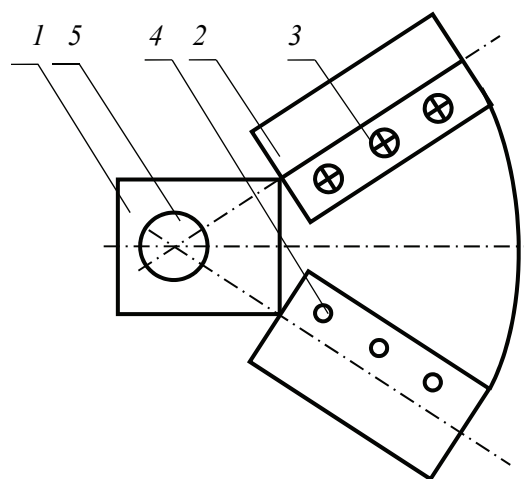


Рис. 2. Усовершенствованный трапециевидный нож роторной косилки:  
1 – основание; 2 – режущие накладки; 3 – винт;  
4 – резьбовое отверстие; 5 – отверстие

Таблица 2

**Характеристики ножей**

Наименование параметра	Нож К-1.01.00.023	Нож РК 02.405	Сконструированный нож
Форма	Прямоугольный	Прямоугольный	Трапециевидный
Длина, мм	140	109	140
Ширина, мм	50	55	170
Лезвия	Кромки ножа	Кромки ножа	Режущие накладки
Угол расхождения режущих кромок ножей, град	0,0	0,0	65,0
Угол заточки лезвия, град	45,0	30,0	20,0
Масса, кг	≅0,300	≅0,250	≅0,650

При выборе сталей для режущей накладки необходимо обеспечить ее достаточную общую прочность. Обоим этим условиям удовлетворяют стали 65Г или 65ХГР с плакирующим слоем из стали Х6Ф1 или аналогичной, которая обладает весьма высокой износостойкостью, что определяется наличием большого количества карбидов хрома. Кроме того, эта сталь обладает способностью закаливаться на воздухе, что значительно упрощает термическую обработку биметаллической режущей накладки в производственных условиях.

При воздушной закалке в струе воздуха с температурой 1050°C сталь Х6Ф1 дает твердость в пределах 500–650 НВ, а предел прочности 80–100 кгс/мм. Эту сталь можно применить в качестве плакирующего слоя для листового проката, пригодного для изготовления

самозатачивающихся ножей для других машин и агрегатов.

**Выводы.** Применение биметаллических режущих элементов для рабочих органов кусторезов роторного типа дает значительный экономический эффект. Так, стойкость биметаллического лезвия в среднем в 2,5 раза больше стойкости обычно применяемого однослойного лезвия, поэтому отпадает необходимость в заточке лезвия и (или) режущей накладки.

За счет уменьшения простоев тракторов и уменьшения тягового усилия при срезании КДР снижаются эксплуатационные расходы [3, 14, 15].

Применение биметалла для ножей должно в ближайшем будущем значительно расширяться ввиду огромных преимуществ биметаллических самозатачивающихся режущих элементов в сравнении с однослойными, нуждающимися в заточке.

### Литература

1. Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь: ТКП 193-2009 (02080). Введ. 01.11.2009. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь: Белгипролес, 2009. 20 с.
2. Правила по охране труда при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог / М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь; М-во труда и соц. защиты Респ. Беларусь. Минск, 2002. 200 с.
3. Рекомендации по текущему ремонту и содержанию лесных автомобильных дорог: утв. М-вом лесного хоз-ва Респ. Беларусь 14.12.2015. Минск, 2015. 31 с.
4. Леонович И. И., Оковитый А. Л. Эксплуатация лесных дорог. Минск: Выш. шк., 1972. 448 с.
5. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2009. 170 с.
6. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: БГТУ, 2005. 160 с.
7. Рубец С. Г., Мажугин Е. И., Пашкевич А. В. Обоснование необходимости использования трапиевидных ножей на роторных косилках // Вестник Полоцкого государственного университета. 2016. Сер. В, № 3. С. 44–50.
8. Лесные автомобильные дороги: нормы проектирования и правила устройства: ТКП 500–2013 (02080). Введ. 01.03.2014. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. 87 с.
9. Технология строительства дорог / Белорус. нац. техн. ун-т; сост. И. И. Леонович. Минск. 2010. 361 с.
10. Ахо С., Сааренкет Т. Управление водоотводом на дорогах с низкой интенсивностью движения. URL: <http://www.ador.ru/data/files/static/kolarctic-3-12.pdf> (дата обращения: 26.03.2019).
11. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; сост.: В. С. Лахмаков, В. И. Лаптев, Е. В. Плискевич. Минск, 2008. 294 с.
12. Исследование эксплуатационного состояния лесных дорог и разработка рекомендаций по их содержанию / М. Т. Насковец [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 65–69.
13. Корнилович Р. А. Совершенствование режущего аппарата ротационной косилки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ряз. гос. с.-х. акад. им. П. А. Костычева. Рязань, 2007. 12 с.
14. Мажугин Е. И., Рубец С. Г., Борисов А. Л. Механико-технологические основы совершенствования косилок для мелиорированных земель и лугопастбищных угодий. Горки: БГСХА, 2017. 247 с.
15. Об утверждении межотраслевых правил по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и в лесном хозяйстве Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь: постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь и М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 30 дек. 2008 г., № 211/39 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. 2009. № 8/20979.

### References

1. ТКП 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., Belgiproles Publ., 2009. 20 p. (In Russian).

2. *Pravila po okhrane truda pri stroitel'stve, rekonstruktsii, remonte i sodержanii avtomobil'nykh dorog* [Rules on labor protection in the construction, reconstruction, repair and maintenance of motorized roads]. Minsk, 2002. 200 p.

3. *Rekomendatsii po tekushchemu remontu i sodержaniyu lesnykh avtomobil'nykh dorog* [Recommendation on current repair and maintenance of forest roads]. Minsk, 2015. 31 p.

4. Leonovich I. I., Okovityy A. L. *Ekspluatatsiya lesnykh dorog* [Exploitation of forest roads]. Minsk, Vysheyschaya shkola. Publ., 1972. 448 p.

5. Naskovets M. T. *Transportnoye osvoyeniye lesov Belarusi i komponenty lesotransporta* [Vehicle development of Belarus forests and components of forest transport]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 170 p.

6. Matveiko A. P., Klovok D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and timber production equipment]. Minsk, BSTU Publ., 2005. 160 p.

7. Rubets S. G., Mazhutin E. I., Pashkevich A. V. Justification of the need to use trapezoidal knives on rotary mowers. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University], 2016, series B, no. 3, pp. 44–50 (In Russian).

8. ТКР 500-2013 (02080). Forest roads: design standards and rules of the device. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2013. 87 p. (In Russian).

9. *Tekhnologiya stroitel'stva dorog* [Road construction technology]. Compiler I. I. Leonovich. Minsk, 2010. 361 p.

10. Akho S., Saarenket T. *Upravleniye vodootvodom na dorogakh s nizkoy intensivnost'yu dvizheniya* [Management of drainage on roads with low traffic]. Available at: <http://www.ador.ru/data/files/statik/kolarctic-3-12.pdf> (accessed 26.03.2019).

11. *Hidravlika i hidromekhanizatsiya sel'skokhozyaystvennykh protsessov* [Hydraulics and hydromechanization of agricultural processes]. Compilers: V. S. Lakhmakov, V. I. Laptev, E. V. Pliskevich. Minsk, 2008. 294 p.

12. Naskovets M. T., Zharkov N. I., Drachilovskiy A. I., Korin G. S., Khoroshun N. V. *Issledovaniye ekspluatatsionnogo sostoyaniya lesnykh dorog i razrabotka rekomendatsiy po ikh sodержaniyu* [Research operational state forest roads and develop recommendations on their repair and maintenance]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 65–69 (In Russian).

13. Kornilovich R. A. *Sovershenstvovaniye rezhushchego apparata rotatsionnoy kosilki. Artoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Perfection of the cutting apparatus of the rotary mower. Abstract of thesis cand. tech. sci.]. Ryazan, 2007. 12 p.

14. Mazhugin E. I., Rubets S. G., Borisov A. L. *Mechaniko-tekhnologicheskiye osnovy sovershenstvovaniya kosilok dlya meliorirovannykh zemel' i lugopastbishchnykh ugodiy* [Mechanical and technological basis for improving mowers for reclaimed land and grasslands]. Gorki, BGSKhA, 2017. 247 p.

15. About the approval of intersectoral rules on labor protection in the wood, woodworking industry and in forestry of the Ministry of forestry of Republic of Belarus. Resolution of the Ministry of labour and social protection of the Republic of Belarus and the Ministry of forestry of the Republic of Belarus, December, 30, 2008, no. 211/39. *Natsional'nyy pravovoy internet-portal Respubliki Belarus'* [National legal Internet portal of the Republic of Belarus]. 2009, no № 8/20979.

### Информация об авторах

**Хорошун Николай Владимирович** – магистр экономических наук, магистр технических наук, доцент, начальник отдела промышленного производства управления производства и реализации продукции. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (220048, г. Минск, ул. Мясникова, 39, Республика Беларусь). E-mail: kharashun@ministry.mlh.by

**Насковец Михаил Трофимович** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

### Information about the authors

**Khoroshun Nikolay Vladimirovich** – Master of Economics, Master of Engineering, Associate Professor, Head of Industrial Engineering Division of the Production and Sales Department. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39, Myasnikova str., 220048, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kharashun@ministry.mlh.by

**Naskovets Michail Trofimovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Поступила 04.04.2019

# ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

УДК 667.635:674.21

**С. В. Шетько<sup>1</sup>, Л. В. Игнатович<sup>1</sup>, С. С. Гайдук<sup>1</sup>, А. С. Чуйков<sup>1</sup>, Н. А. Журавский<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup> Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова  
Национальной академии наук Беларуси

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ ТЕРМОУПЛОТНЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

Целью настоящего исследования является разработка модифицированных лакокрасочных составов для защитно-декоративных покрытий термоуплотненных образцов мягколиственных пород древесины и определение адгезионных характеристик покрытий.

Термомеханическое уплотнение поверхности древесины способствует снижению шероховатости и уменьшению адгезионной прочности. Для увеличения адгезионной прочности в качестве модифицирующей добавки лакокрасочного материала – водно-дисперсионного лака для мебели BRAVA ACRYL 41 и водно-дисперсионного лака для паркета «АкваЛид паркет» выбран жидкий анионный агент Troysol LAC, который сокращает поверхностное натяжение и улучшает смачиваемость поверхности.

Испытания модифицированных защитно-декоративных покрытий проводились для выявления соответствия свойств полученных покрытий требованиям, которые устанавливаются действующими стандартами и техническими условиями на конкретный вид покрытий. Для определения адгезионных характеристик образцов модифицированных лакокрасочных составов использовался механический адгезиметр «Константа АЦ».

**Ключевые слова:** испытание, адгезия, модифицирующие добавки, лакокрасочный состав.

**S. V. Shet'ko<sup>1</sup>, L. V. Ignatovich<sup>1</sup>, S. S. Haiduk<sup>1</sup>, A. S. Chuikov<sup>1</sup>, N. A. Zhuravskiy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Belarusian State Technological University

<sup>2</sup> A.V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer of the National  
Academy of Sciences of Belarus

## STUDY OF THE ADHESION CHARACTERISTICS OF THE MODIFIED PAINT COMPOSITIONS FOR PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS OF HEAT-STRENGTHENED SOFT-LEAVED WOOD

The aim of this study is to develop modified paint compositions for protective and decorative coatings of thermally compacted samples of soft-leaved wood species and to determine the adhesive characteristics of coatings.

Thermomechanical sealing of the wood surface reduces roughness and reduces adhesive strength. To increase the adhesion strength as a modifying agent of paint material – water-dispersion varnish for furniture BRAVA ACRYL 41 and the water-dispersion varnish for parquet “AquaLID parquet” selected liquid anionic agent is Troysol LAC, which reduces surface tension and improves wettability of the surface.

Tests of modified protective and decorative coatings were carried out to identify compliance of the properties of the coatings with the requirements established by the current standards and specifications for a particular type of coating. To determine the adhesion characteristics of the samples of modified paint compositions, a mechanical adhesive meter “Constant AC” was used.

**Key words:** test, adhesion, modifying additive, the composition of paint.

**Введение.** Приоритетной задачей деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь является расширение сырьевой базы путем вовлечения в производство древесины мягких лиственных пород. В настоящее время актуально внедрение ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий производства и отделки защитно-декоративными материалами деталей столярно-строительных и мебельных изделий из древесины, обеспечивающих рациональное использование сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов, а также повышение выпуска экспортоориентированной продукции.

Целью настоящего исследования является разработка модифицированных лакокрасочных составов для защитно-декоративных покрытий термоуплотненных образцов мягколиственных пород древесины и определение адгезионных характеристик покрытий.

**Основная часть.** Для отделки древесины применяют разнообразные защитно-декоративные покрытия, включающие лакокрасочные, листовые и пленочные материалы, а также используют последние разработки в области создания, сушки и облагораживания покрытий. Таким образом, изделия, прошедшие отделку, могут эксплуатироваться в различных условиях: в закрытых отапливаемых помещениях (мебель), в условиях открытой атмосферы (окна, двери, садовая мебель, спортивный инвентарь), в среде, насыщенной парами растворителей и других реагентов (лабораторная мебель), и т. д.

Испытания защитно-декоративных покрытий [1–10, 12, 14] проводятся для выявления соответствия свойств полученных покрытий требованиям, которые устанавливаются действующими стандартами и техническими условиями на конкретный вид покрытий.

Защитно-декоративные свойства покрытий в значительной степени зависят от адгезии их к подложке. Под адгезией подразумевают связь на границе раздела разнородных фаз. Она оценивается работой, которую необходимо затратить для преодоления этой связи. На прочность сцепления покрытий с древесиной влияют вид материала, толщина покрытия и технология его формирования. К наиболее распространенным методам определения адгезии лакокрасочных покрытий на древесине относят метод решетчатых надрезов [1], метод параллельных надрезов [2] и метод отрыва [3].

Для защитно-декоративных покрытий древесины приготовлено 6 модифицированных лакокрасочных составов. За основу взяты водно-дисперсионный лак для мебели BRAVA ACRYL 41 и водно-дисперсионный лак для пар-

кета «АкваЛид паркет». Лак BRAVA ACRYL 41 предназначен для высококачественной декоративной отделки и защиты поверхностей из массива древесины, изделий, облицованных натуральным или искусственным шпоном (межкомнатные двери, лестничные перила, обшивка, плинтуса, брусья, стеновые и потолочные панели, элементы мебели и др.), эксплуатируемых внутри помещений. Лак «АкваЛид паркет» предназначен для отделки деревянных, в том числе паркетных, полов и других деревянных оснований. Подходит для покрытия поверхностей, подвергающихся повышенной нагрузке и используемых внутри помещения.

В качестве модифицирующей добавки выбран жидкий анионный агент Troysol LAC. Агент сокращает поверхностное натяжение и улучшает смачиваемость поверхности [11]. Он подходит для латексных адгезивов и других водных композиций. Кроме того, в лакокрасочные составы добавлено 0,05 мас. % тиксотропной добавки.

В исходный состав лака вводилось необходимое количество добавок и тщательно перемешивалось в течение 10 мин. Приготовлено таким образом 6 составов с концентрацией Troysol LAC 0,3, 0,4 и 0,5 мас. % как для лака BRAVA ACRYL 41, так и для «АкваЛид паркет».

Полученные модифицированные составы, а также исходные лаки BRAVA ACRYL 41 и «АкваЛид паркет» были нанесены на необработанные образцы мягколиственной древесины (ольхи) и на образцы, прошедшие обработку термоуплотнением.

Лакокрасочные составы наносили в три слоя кистью (рис. 1). Время сушки после нанесения первого и второго слоя – 2 ч, время сушки после нанесения последнего слоя – 48 ч.



Рис. 1. Нанесение лакокрасочного состава на образцы кистью

После нанесения слоя лака образцы высушивали в вытяжном шкафу (рис. 2).



Рис. 2. Высушивание образцов в сушильном шкафу

Всего покрыто лаком 16 образцов древесины: 8 необработанных (два – покрытых исходными лакокрасочными составами и шесть – модифицированными) и, соответственно, восемь образцов, модифицированных термоуплотнением.

Данные по расходу лака приведены в табл. 1 и 2.

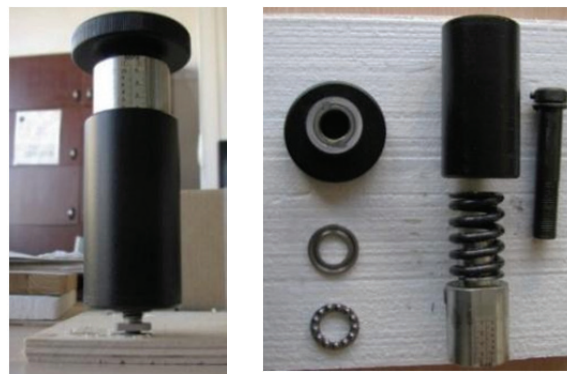
Как видно из таблиц, не установлена корреляция между содержанием жидкого анионного агента Troysol LAC и расходом материала на окраску поверхности.

В то же время термоуплотнение образцов древесины ольхи приводит к снижению расхода лака. Снижение более существенно для составов на основе лака «АкваЛид паркет» и достигает полутора раз.

Для определения адгезионных характеристик образцов методом отрыва модифицированных лакокрасочных составов использовался механический адгезиметр «Константа АЦ». Фотография адгезиметра приведена на рис. 3.

В основу работы прибора положен принцип измерения усилия отрыва грибка, приклеиваемого к контролируемому покрытию.

Усилие отрыва создается поворотным механизмом, состоящим из пары винт – гайка, возводящим пружинный механизм, соединенный с грибком. Диаметры используемых грибков – 19,5 и 15,1 мм. Величина удельного усилия отрыва считывается по положению верхней грани корпуса относительно шкалы, соответствующей диаметру грибка (рис. 3, в).



а

б



в

Рис. 3. Адгезиметр «Константа АЦ»: а – общий вид прибора; б – детали; в – шкала

Таблица 1

**Расход лакокрасочных составов для необработанных образцов древесины ольхи**

Образец лака	Расход, г/м <sup>2</sup>
BRAVA ACRYL 41	152,9
BRAVA ACRYL 41 + 0,3% Troysol LAC	148,7
BRAVA ACRYL 41 + 0,4% Troysol LAC	188,5
BRAVA ACRYL 41 + 0,5% Troysol LAC	123,9
АкваЛид паркет	146,5
АкваЛид паркет + 0,3% Troysol LAC	173,7
АкваЛид паркет + 0,4% Troysol LAC	240,3
АкваЛид паркет + 0,5% Troysol LAC	214,8

Таблица 2

**Расход лакокрасочных составов  
для модифицированных образцов древесины ольхи**

Образец лака	Расход, г/м <sup>2</sup>
BRAVA ACRYL 41	140,8
BRAVA ACRYL 41 + 0,3% Troysol LAC	110,0
BRAVA ACRYL 41 + 0,4% Troysol LAC	157,8
BRAVA ACRYL 41 + 0,5% Troysol LAC	147,9
АкваЛид паркет	147,1
АкваЛид паркет + 0,3% Troysol LAC	135,9
АкваЛид паркет + 0,4% Troysol LAC	157,8
АкваЛид паркет + 0,5% Troysol LAC	177,6

Грибки приклеивались к поверхности покрытого лакокрасочным составом образца древесины ольхи (рис. 4) клеем «Секунда 505» производства Yiwu Makan (Китай). Этот клей предназначен для склеивания изделий из пластмасс, металла, дерева, резины, картона и других гладких поверхностей, он обеспечивает достаточное сцепление материалов.

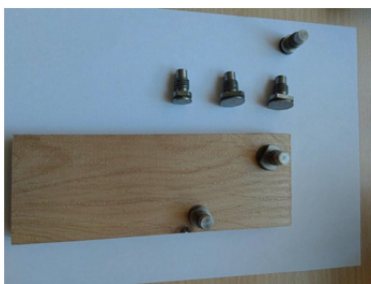


Рис. 4. Пример размещения грибков на обработанных лакокрасочным составом образцах ольхи

Согласно экспериментальным результатам, представленным на рис. 5, сила сцепления лакокрасочных составов на основе лака BRAVA ACRYL 41 ниже, чем лакокрасочных составов на основе лака «АкваЛид паркет» (кривые 1 и 2 против кривых 3 и 4). К тому же отличается характер отрыва для этих лаков. Для лакокрасочных составов на основе лака BRAVA ACRYL 41 характерен адгезионный отрыв по границе контакта лакокрасочного покрытия с поверхностью древесины (рис. 6, а), для лакокрасочных составов на основе лака «АкваЛид паркет» характерен когезионный отрыв по слою древесины (рис. 6, б), в этом случае прочность древесины оказывается ниже прочности сцепления лакокрасочного покрытия с древесиной.

Измерение адгезии проводилось обязательно не раньше 24 ч после склеивания для обеспечения полного отверждения клея [13].

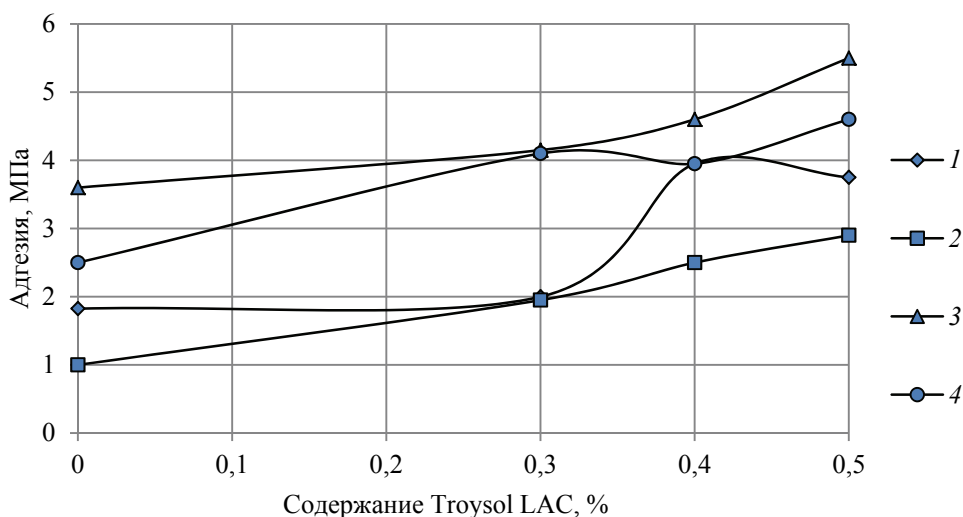


Рис. 5. Зависимость адгезии от содержания анионного агента Troysol LAC:

- 1 – лакокрасочные составы на основе лака BRAVA ACRYL 41 на необработанной древесине;
- 2 – лакокрасочные составы на основе лака BRAVA ACRYL 41 на модифицированной древесине;
- 3 – лакокрасочные составы на основе лака «АкваЛид паркет» на необработанной древесине;
- 4 – лакокрасочные составы на основе лака «АкваЛид паркет» на модифицированной древесине



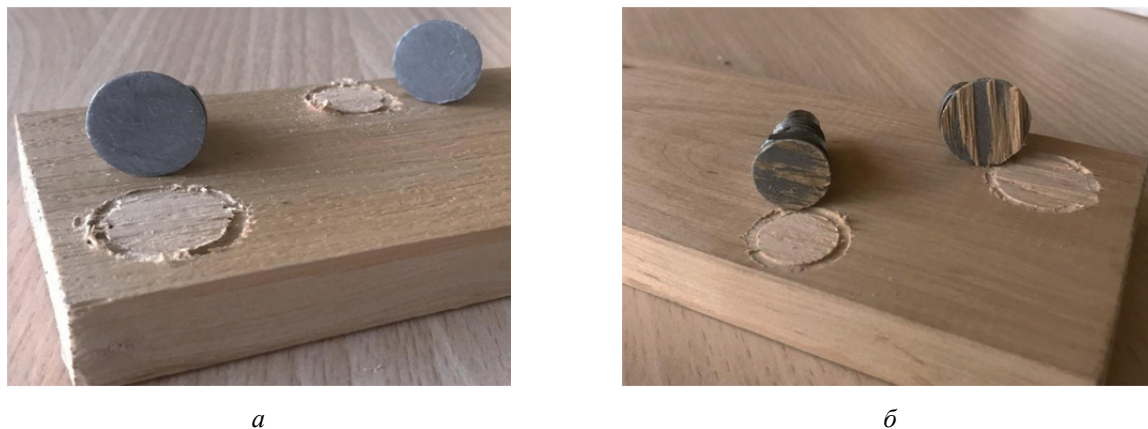


Рис. 6. Фотографии грибков и поверхностей древесины после отрыва:  
 а – состав на основе лака для мебели BRAVA ACRYL 41;  
 б – состав на основе лака для паркета «АкваЛид паркет»

Термоуплотнение древесины ольхи приводит к снижению адгезии в среднем на 20–25% (см. рис. 5), что, по-видимому, объясняется снижением пористости древесины при уплотнении.

Модификация лакокрасочных составов анионным агентом Troysol LAC вызывает существенное увеличение адгезии лака с древесиной ольхи. Особенно существенно увеличение адгезионных сил для составов на основе мебельного лака BRAVA ACRYL 41, это увеличение достигает почти 3 раз на модифицированной дре-

весине (кривая 2). Для составов на основе паркетного лака рост сил адгезии также более существенный при использовании модифицированных образцов древесины.

**Выводы.** Установлено снижение адгезии в среднем на 20–25% при использовании модифицированных образцов древесины. Показано, что введение в состав лакокрасочных композиций анионного агента Troysol LAC вызывает существенное увеличение адгезии лака с древесиной ольхи, достигающее почти трех раз на модифицированной древесине.

### Литература

1. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза: ГОСТ 31149–2014 (ISO 2409:2013). Введ. 09.01.2015. М.: Стандартинформ, 2015. 15 с.
2. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии: ГОСТ 15140–78. Введ. 01.01.1979. М.: Изд-во стандартов, 1979. 7 с.
3. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий: ГОСТ 27325–87 (СТ СЭВ 5091–85). Введ. 01.01.1989. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.
4. Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости: ГОСТ 8420–74. Введ. 01.01.1975. М.: Изд-во стандартов, 1976. 7 с.
5. Материалы лакокрасочные. Методы определения массовой доли летучих и нелетучих, твердых и пленкообразующих веществ: ГОСТ 17537–72. Введ. 01.01.1973. М.: Изд-во стандартов, 1973. 9 с.
6. Материалы лакокрасочные. Методы определения укрывистости: ГОСТ 8784–75. Введ. 01.07.1976. М.: Изд-во стандартов, 1976. 12 с.
7. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения стойкости лакокрасочных покрытий к воздействию переменных температур: ГОСТ 19720–74. Введ. 01.01.1975. М.: Изд-во стандартов, 1976. 3 с.
8. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения стойкости защитно-декоративных покрытий к истиранию: ГОСТ 27820–88. Введ. 01.01.1989. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.
9. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения ударной прочности защитно-декоративных покрытий: ГОСТ 27736–88. Введ. 20.06.1988. М.: Изд-во стандартов, 1988. 5 с.
10. Материалы лакокрасочные мебельные. Общие технические условия: ГОСТ 31093–2003. Введ. 02.07.2003. Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. 12 с.

11. Онегин В. И., Жуков Е. В. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: Экология, 1993. 300 с.

12. Санаев В. Г. Определение твердости защитно-декоративных покрытий на древесине // Деревообработ. пром-сть. 1983. № 4. С. 5–17.

13. Низина Т. А., Зимин А. Н., Низин Д. Р. Влияние наполнителей на изменение декоративных характеристик эпоксиуретановых покрытий под действием ультрафиолетового облучения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2012. № 1. С. 6–10.

14. Метод определения твердости защитно-декоративных покрытий царапанием / Г. В. Разумовский [и др.] // Деревообработ. пром-сть. 1988. № 6. С. 16–18.

### References

1. GOST 31149–2014 (ISO 2409:2013). Paint and varnish materials. Determination of the adhesion method of lattice cuts. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 15 p. (In Russian).

2. GOST 15140–78. Paint and varnish materials. Methods for determining adhesion. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1979. 7 p. (In Russian).

3. GOST 27325–87 (ST SEV 5091–85). Details and products of wood and wood materials. Method for determining the adhesion of coatings. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 7 p. (In Russian).

4. GOST 8420–74. Paint and varnish materials. Methods for determining the conditional viscosity. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1976. 7 p. (In Russian).

5. GOST 17537–72. Paint and varnish materials. Methods for determining the mass fraction of volatile and non-volatile, solid and film-forming substances. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1973. 9 p. (In Russian).

6. GOST 8784–75. Paint and varnish materials. Methods for the determination of opacity. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1976. 12 p. (In Russian).

7. GOST 19720–74. Details and products of wood and wood materials. A method of determining the resistance of paint coatings to the effects of variable temperatures. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1976. 3 p. (In Russian).

8. GOST 27820–88. Details and products of wood and wood materials. Method for determining the resistance of protective and decorative coatings to abrasion. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 7 p. (In Russian).

9. GOST 27736–88. Details and products of wood and wood materials. Method for determining the impact strength of protective and decorative coatings. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 5 p. (In Russian).

10. GOST 31093–2003. The materials of the furniture. General specifications. Minsk, Mezhgosudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2003. 12 p. (In Russian).

11. Onegin V. I., Zhukov E. V. *Technologiya zaschitno-dekorativnykh pokritiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology of protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow, Ecologiya Publ., 1993. 300 p.

12. Sanaev V. G. Determination of hardness of protective and decorative coatings on wood. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1983, no. 4, pp. 5–17 (In Russian).

13. Nizina T. A., Zimin A. N., Nizin D. R. Influence of fillers on the change of decorative characteristics of epoxyurethane coatings under the influence of ultraviolet irradiation. *Vestnik BGTU imeni V. G. Shukhova* [Bulletin of V. G. Shukhov BSTU], 2012, no. 1, pp. 6–10 (In Russian).

14. Razumovskiy G. V., Sanaev V. G., Vol'nova T. S. [etc.]. Method of determination of hardness of protective and decorative coatings by scratching. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1988, no. 6, pp. 16–18 (In Russian).

### Информация об авторах

**Шетько Сергей Васильевич** – 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: shs@belstu.by

**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, lignatovich6@gmail.com

**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: domtyt@tut.by

**Чуйков Алексей Сергеевич** – кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: offlex88@mail.ru

**Журавский Николай Анатольевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: mikalai.zhur@tut.by

#### Information about the authors

**Shet'ko Sergey Vasil'yevich** – 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: shs@belstu.by

**Ignatovich Lyudmila Vladimirovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

**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: domtyt@tut.by

**Chuiikov Aleksey Sergeevich** – PhD (Engineering), Assistant Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru

**Zhuravskiy Nikolay Anatol'yevich** – PhD (Engineering), Senior Researcher, the Laboratory of Reo-physics and Macrokinetics. A. V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus. (15, P. Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shs@belstu.by

*Поступила 14.03.2019*

УДК 674. 048

**А. Ю. Бовтрель, И. К. Божелко**

Белорусский государственный технологический университет

**БИОВЛАГОЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В работе проведен анализ основных проблем по повышению долговечности древесины и деревянных строительных конструкций. Проведены исследования по определению изменения защищенности древесины после искусственного старения. Сделан анализ современного рынка антисептиков для древесины. Для того чтобы исследовать долговечность защищенной антисептиком древесины, были проведены испытания на биостойкость и вымываемость. В качестве антисептика был выбран состав на основе солей меди, так как такие антисептики сейчас наиболее распространены на рынке. Проведенные исследования показали, что на сегодняшний день нельзя говорить о полной защищенности древесины.

Сегодня на рынке присутствуют несколько биовлагозащитных составов. Все составы этого класса образуют защитную пленку той или иной долговечности в зависимости от природы компонентов. Однако такие составы обладают рядом недостатков: образуют лишь поверхностную пленку, не проникая в древесину; не обеспечивают полную комплексную защиту; из-за своей сложной структуры не экологичны и опасны для здоровья человека; имеют высокую стоимость.

**Ключевые слова:** древесина, долговечность, антисептики, искусственное старение, биовлагозащита.

**A. Yu. Bovtrel', I. K. Bozhelko**

Belarusian State Technological University

**BIOLOGICAL PROTECTION PROCESSING OF WOOD  
AND WOOD CONSTRUCTION STRUCTURES**

The paper analyzes the main problems to improve the durability of wood and wooden building structures. Studies have been conducted to change the of wood after artificial aging. The analysis of the modern market of wood preservatives is made. In order to investigate the durability of wood protected by an antiseptic, tests for biostability and leachability were carried out. A composition based on copper salts was chosen as an antiseptic, since such antiseptics are now the most common on the market. Studies have shown that today it is impossible to talk about the complete protection of wood.

Today there are already several bio-moisture protective compounds on the market. All formulations of this class form a protective film of a certain durability, depending on the nature of the components. However, such compositions have a number of disadvantages: they form only a surface film without penetrating into the wood; do not provide complete comprehensive protection; because of their complex structure, they are not environmentally friendly and dangerous to human health; have a high cost.

**Key words:** wood, durability, antiseptics, artificial aging, bio-moisture protection.

**Введение.** Увеличение срока службы древесных материалов в значительной степени зависит от их биовлагостойкости. Деструкция целлюлозы происходит под действием ферментов, содержащихся в микроорганизмах. При высокой влажности процессы ферментативного гидролиза компонентов древесины значительно ускоряются. Установлено, что анаэробные микроорганизмы в десятки раз ускоряют процесс разрушения древесных материалов. Разрушению деревянных конструкций способствуют циклические изменения влажности древесины сверх гидроскопического предела, что приводит к растрескиванию и раскалыванию.

Радикально решить проблему долговечности древесины можно путем придания ей комплексных биовлагозащитных свойств. Долговечность этих свойств значительно увеличива-

ется при образовании ковалентных связей между компонентами древесины в поверхностном слое и биовлагозащитным средством.

Целью данной работы является обзор современной биовлагозащитной обработки древесины и деревянных строительных конструкций.

**Основная часть.** Не для кого не секрет, что древесина и изделия из нее подвержены разрушению под воздействием как климатических, так и биологических факторов. Поэтому существует необходимость в защите не только самой древесины, но и изделий из нее.

Древесина зачастую является незаменимым строительным материалом, который обладает целым рядом достоинств, но имеет и существенные недостатки. Одним из них является ее подверженность разрушению грибами, так как, являясь органическим материалом, она служит

благоприятной средой для развития грибов, заселяющих древесину в лесу, на складах и в процессе эксплуатации. Основными факторами, вызывающими разрушение древесины и изделий из нее, являются [1–3]:

- 1) биологические факторы: грибы, насекомые, водоросли, бактерии (рис. 1);
- 2) климатические факторы: осадки (дождь, снег, град), УФ-излучение, колебания температуры, ветер;
- 3) огонь.



Рис. 1. Пример поражения древесины

Защита древесины включает все меры, которые предотвращают разрушение самой древесины, древесных материалов или деревянных конструкций (например, бревенчатых домов, кровельных конструкций, мебели, древесины, столбов) от повреждений, вызванных погодой, насекомыми и грибами, что обеспечивает длительный срок ее службы [4–9].

Для того чтобы исследовать долговечность защищенной антисептиком древесины, были проведены испытания на биостойкость и вымываемость. В качестве антисептика был выбран состав на основе солей меди, так как такие антисептики сейчас наиболее распространены на рынке [10, 11].

Оценка эффективности защитного средства на основе солей меди против деревоокрашивающих и плесневых грибов во времени проводилась в соответствии с ГОСТ 30028.4 после искусственного старения по предложенной методике [12, 13]. Для этого образцы древесины пропитывались антисептиком на основе солей меди, затем помещались в климатическую камеру Feutron (тип 3826/16), где проходили ускоренные испытания.

Образцы прошли несколько циклов испытаний, соответствующих 6 месяцам, 1 году и 2 годам эксплуатации. Восемь циклов испытаний по каждому методу соответствуют одному

году эксплуатации. Чтобы подтвердить возможность эксплуатации в течение большого срока, необходимо повторить круг испытаний из восьми циклов требуемое количество раз.

По итогу защищающая способность антисептика против деревоокрашивающих и плесневых грибов после искусственного старения оценена так:

- 6 месяцев – эффективный (рис. 2);
- 1 год – среднеэффективный (рис. 3);
- 2 года – малоэффективный (рис. 4).



Рис. 2. Образцы после искусственного старения, срок эксплуатации – 6 месяцев



Рис. 3. Образцы после искусственного старения, срок эксплуатации – 1 год



Рис. 4. Образцы после искусственного старения, срок эксплуатации – 2 года

Сущность метода определения устойчивости к вымыванию заключалась в определении снижения степени защищенности пропитанных образцов древесины после вымывания [14].

Пропитанные образцы, доведенные до равновесной влажности, пропитывали дистиллированной водой и оставляли на одни сутки. Через сутки воду из стакана сливали и заливали

вновь 150 см<sup>3</sup> воды. Затем воду в стакане меняли на 5-е, 10-е и 20-е сутки. По истечении 30 суток воду сливали и образцы выдерживали в комнатных условиях до равновесной влажности. Образцы после вымывания помещали на культуру гриба. После двухмесячного пребывания на культуре гриба образцы вынимали, очищали, выдерживали в комнатных условиях до равновесной влажности и взвешивали. Результаты испытаний представлены в табл. 1 и 2, на рис. 5.

Таблица 1  
**Результаты испытаний образцов, пропитанных защитным средством для древесины, по отношению к дереворазрушающему грибу *Coniophora puteana***

Среднее поглощение защитного средства, %	Средняя потеря массы древесины, %
0	58,80
0,98	38,90
1,83	11,30
2,76	3,60
4,79	1,20
5,55	0,99

Таблица 2  
**Результаты испытаний образцов, пропитанных защитным средством для древесины, после вымывания по отношению к дереворазрушающему грибу *Coniophora puteana***

Среднее поглощение защитного средства, %	Средняя потеря массы древесины, %
0	60,30
0,90	53,20
1,99	34,60
3,15	13,50
4,50	1,99
5,75	1,50

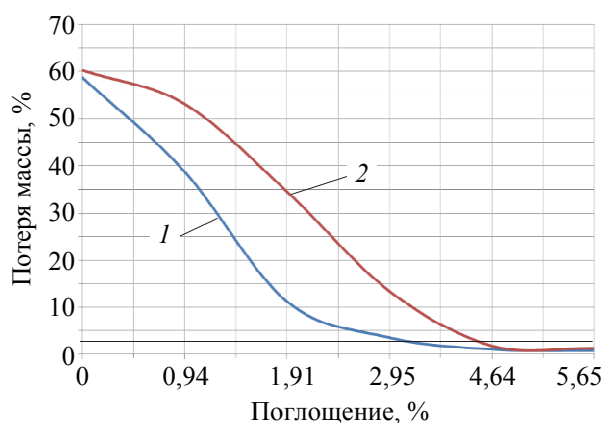


Рис. 5. График изменения защищенности древесины до вымывания (1) и после (2)

Исходя из проведенных исследований на устойчивость к вымыванию было уставлено, что спустя 30 суток классический защитный состав на основе солей меди вымылся на 45%. Таким образом, без эффективной влагозащиты нельзя говорить о высокой защищенности древесины во времени.

На сегодняшний день предлагаемые современным рынком антисептики можно условно разделить на две основные группы. Первая – антисептирующие пропитки, представляющие собой раствор солей или некоторых других веществ (фунгицидов, комбинированных продуктов). Эти препараты требуют последующей обработки поверхности с целью ее изоляции (во избежание вымывания, испарения антисептика) или предотвращения прямого контакта с телом человека (из-за токсичности составляющих). Вторая группа объединяет антисептирующие покрытия, образующие защитную пленку. В этом случае дополнительной обработки деревянной поверхности не требуется. Продукция обеих групп выпускается как на водной основе, так и на основе органических растворителей [10, 11, 15].

В продаже имеется немало антисептической продукции как отечественной, так и зарубежной.

Биовлагозащитные составы – это препараты для борьбы с грибами, плесенью и другими вредителями, придающие древесине защитные, водоотталкивающие и декоративные свойства. Появление таких составов было вполне обусловлено: зачем покрывать поверхность тремя разными веществами, если можно все то же самое нанести за один раз? Благодаря такой «экономии трудозатрат» недавно появившиеся на рынке комплексные декоративные пропитки с антисептическими свойствами имеют большую популярность.

Разговор о биовлагозащитных пропитках стоит начать с того, что состав их очень сложен. В них входят связующие (пленкообразователи), сшивающие агенты, пигменты, растворители и добавки. Природа связующего определяет атмосферостойкость и силу сцепления препарата с поверхностью. Здесь, как и в красках, используются латексные, акриловые и алкидные полимеры. Сшивающие агенты – это вещества, вызывающие образование в полимере поперечных связей. В результате получается более прочное и жесткое покрытие. Ускорители высыхания – сиккативы – представляют собой органические соли, ускоряющие процесс высыхания. Пигменты придают покрытию окраску и укрывистость путем поглощения или рассеяния света. Растворитель – среда, обеспечивающая перенос компонентов состава на поверхность. Компоненты либо растворяются, либо образу-

ют суспензии, от чего зависит скорость сушки покрытия. Технологические свойства пропитки улучшаются добавками, круг которых широк, а их составы не разглашаются. В качестве растворителей могут выступать органические вещества (например, уайт-спирит) или вода. В последнем случае получаются, как правило, воднодисперсионные акриловые пропитки, образующие на поверхности древесины защитную пленку.

Сегодня на рынке уже есть несколько биовлагозащитных составов. Все составы этого класса образуют защитную пленку (той или иной долговечности в зависимости от природы компонентов). Однако такие составы обладают рядом недостатков:

- образуют лишь поверхностную пленку, не проникая в древесину;
- не обеспечивают полную комплексную защиту;
- из-за своей сложной структуры зачастую не экологичны и опасны для здоровья человека;
- имеют высокую стоимость.

**Заключение.** Таким образом, стоит сделать вывод, что для высокоэффективной защиты древесины во времени требуется разработка комплексных составов, которые обладали бы хорошей био- и влагостойкостью, высокой проникаемостью в древесину, низкой стоимостью, были бы экологически чистыми и безопасными для человека, а также создание технологий их применения.

### Литература

1. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
2. Горшин С. Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. 355 с.
3. Леонович О. К., Федосенко И. Г. Оценка характеристик и состояния древесины в конструкциях дома XVIII–XIX вв. Лошицкого усадебно-паркового комплекса // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 264–267.
4. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.
5. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Определение преобладающих культур дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов, их воздействие на древесину // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 299–304.
6. Семенкова И. Г. Фитопатология. Дереворазрушающие грибы, гнили и патологические окраски древесины (определятельные таблицы). М.: МГУП, 2001. 57 с.
7. Белясова Н. А. Микробиология. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2007. 160 с.
8. Мейер Е. И. Определитель деревоокрашивающих грибов. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1953. 116 с.
9. Мазаник Н. В., Снопков В. Б. Тест-культуры грибов для испытания средств защиты древесины // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 194–198.
10. Мазаник Н. В. Современные биозащитные средства для древесины // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 181–184.
11. Божелко И. К. Корректировка рецептуры защитных средств в процессе пропитки древесины // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 162–166.
12. Средства защитные для древесины. Экспресс-метод оценки эффективности против дереворазрушающих и плесневых грибов: ГОСТ 30028.4-2006. Введ. 01.01.07. М.: Межгос. сов. по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. 6 с.
13. Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов: ГОСТ 9.048-89. Введ. 01.07.91. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1989. 22 с.
14. Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности: ГОСТ 16712-95. Введ. 01.01.97. М.: Межгос. сов. по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 12 с.
15. Мазаник Н. В. Комплексная защита древесных материалов антисептиками синергического действия: автореф. ... дис. канд. техн. наук / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2010. 22 с.

### References

1. Sergovskiy P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p.
2. Gorshin S. N. *Konservirovaniye drevesiny* [Wood preservation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 355 p.
3. Leonovich O. K., Fedosenko I. G. Evaluation of the characteristics and condition of wood in the structures of the house XVIII–XIX centuries of the Loshitsky manor-park complex. *Trudy BGTU*

[Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 264–267 (In Russian).

4. Paul E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedeniye s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the fundamentals of forest goods science]. Minsk, BSTU Publ., 2015. 315 p.

5. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. Determination of the predominant cultures of wood-destroying and wood-coloring fungi, their effect on wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 299–304 (In Russian).

6. Semenikova I. G. *Fitopatologiya. Derevorazrushayushchiye griby, gnili i patologicheskiye okraski drevesiny (opredelitel'nyye tablitsy)* [Phytopatology. Wood-destroying fungi, decay and pathological stains of wood (key)]. Moscow, MGUP Publ., 2001. 57 p.

7. Belyasova N. A. *Mikrobiologiya. Laboratornyy praktikum* [Microbiology. Laboratory workshop]. Minsk, BSTU Publ., 2007. 160 p.

8. Meyer E. I. *Opredelitel' derevokrashivayushchikh gribov* [Key to wood-coloring fungi]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1953. 116 p.

9. Mazanik N. V., Snopkov V. B. Test cultures of fungi for testing of wood protection means. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 194–198 (In Russian).

10. Mazanik N. V. Modern bioprotective agents for wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 181–184 (In Russian).

11. Bozhelko I. K. Adjusting the formulation of protective agents in the process of impregnating wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 162–166 (In Russian).

12. GOST 30028.4-2006. Protective equipment for wood. Express method of evaluating the effectiveness against wood-growing and mold fungi. Moscow, Mezhsudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2006. 6 p. (In Russian).

13. GOST 9.048. Unified system of protection against corrosion and aging. Technical products. Methods of laboratory tests for resistance to mold fungi. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1989. 22 p. (In Russian).

14. GOST 16712-95. Protective equipment for wood. Toxicity test method. Moscow, Mezhsudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 1996. 12 p. (In Russian).

15. Mazanik N. V. *Kompleksnaya zashchita drevesnykh materialov antiseptikami sinergicheskogo deystviya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Complex protection of wood materials with anti-septic tanks of synergistic action. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Minsk, 2010. 22 p.

#### Информация об авторах

**Бовтрель Альбина Юрьевна** – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonik.alya@mail.ru

**Божелко Игорь Константинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

#### Information about the authors

**Bovtre' Al'bina Yur'yevna** – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonik.alya@mail.ru

**Bozhelko Igor' Konstantinovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

Поступила 18.03.2019



УДК 674.048:667.74

**С. С. Гайдук<sup>1</sup>, Т. А. Касперович<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>ООО «Европроект-Центр»**ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Научно-исследовательская работа проводилась с целью установления основных физико-механических показателей лакокрасочных покрытий на поверхности массивной древесины, образованных с использованием импортных лакокрасочных материалов, при этом учитывалось максимальное воздействие внешних факторов в естественных условиях эксплуатации. Для создания на поверхности образцов лакокрасочного слоя применялись акриловые и полиуретановые лакокрасочные материалы импортного производства. В качестве основы для создания покрытий использовались мебельные щиты из древесины сосны и дуба. Эксперимент проводился на разных породах, для того чтобы оценить, как лакокрасочное покрытие проявляет себя на мягкой (сосна) и на более твердой (дуб) породе древесины. Для оценки стойкости лакокрасочных покрытий к внешнему воздействию в качестве основных показателей были выбраны следующие: твердость лакокрасочного покрытия, стойкость к истиранию (по коэффициенту стойкости к истиранию и числу сошлифовки), ударная прочность, адгезия. Декоративные свойства покрытия оценивались величиной блеска. Исследования по определению стойкости к истиранию, ударной прочности, адгезии, величины блеска проводились на образцах древесины, а твердости – на стеклянных образцах по стандартизированным методикам. Экономические расчеты показали, что стоимость создания лакокрасочного покрытия на 1 м<sup>2</sup> поверхности с использованием акриловых и полиуретановых материалов практически одинаковая, а это позволяет выбирать покрытие с учетом максимального соответствия предъявляемым требованиям.

**Ключевые слова:** мебельный щит, лакокрасочный материал, лакокрасочное покрытие, твердость, ударная прочность, стойкость к истиранию, адгезия, блеск.

**S. S. Haiduk<sup>1</sup>, T. A. Kasperovich<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>LLC "Europroject-Center"**ASSESSMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL INDICATORS  
OF WOOD PAINT COATINGS**

The research work was carried out in order to establish the basic physicomachanical indicators of paint coatings on the surface of solid wood, formed using imported paint and varnish materials, taking into account the maximum impact of external factors in natural operating conditions. Acrylic and polyurethane paints and varnishes of imported production were used to create a paint layer on the surface of samples. As a basis for creating coatings, furniture panels made of pine and oak wood were used. The experiment was carried out on different rocks in order to evaluate how the paintwork manifests itself on soft (pine) and harder (oak) wood species. To assess the resistance of paint coatings to external influences, the main indicators were as follows: hardness of paint coating, resistance to abrasion (in terms of resistance to abrasion and the number of grinding), impact strength, adhesion. The decorative properties of the coating were evaluated by the magnitude of the gloss. Studies to determine abrasion resistance, impact strength, adhesion, gloss were conducted on wood samples, and hardness – on glass samples using standardized methods. Economic calculations have shown that the cost of creating a paint coating on 1 m<sup>2</sup> of surface using acrylic and polyurethane materials is almost the same, which allows you to choose a coating with maximum compliance with the requirements.

**Key words:** furniture shield, paintwork material, paintwork, hardness, impact strength, abrasion resistance, adhesion, gloss.

**Введение.** Значительное влияние на формирование и развитие экономики отдельных стран и регионов оказывает стабильный рост рынков товаров длительного пользования. Производство таких товаров является одним из факторов мировых интеграционных про-

цессов, а рынок товаров длительного пользования становится одним из наиболее значимых секторов экономики. Товары длительного пользования – материальные товары, купленные конечными потребителями для личного потребления, срок службы которых составляет

несколько лет и позволяет выдерживать многократное потребление. Одним из таких товаров является мебельная продукция, которая достаточно активно используется в повседневной жизни человека [1].

По данным Центра промышленных исследований CSIL Milano, объем мирового мебельного рынка оценивается более чем в 400 млрд долл. США в год по розничным ценам. В рейтинге CSIL Milano Республика Беларусь занимает 37-е место по экспорту из 100. По данным Министерства статистики, годовой объем производства мебели составляет порядка 1,29 млн бел. руб. При этом следует отметить, что если в странах Западной Европы потребление мебели на душу населения составляет 210 евро в год, в странах Центрально-Восточной Европы – 100, то в Беларуси – лишь 25 [2–3].

Значительную часть мебельного рынка Республики Беларусь занимает продукция, в качестве конструкционного материала в которой используются плитные материалы с «финиш-эффектом» (ламинированные плиты). Низкая себестоимость и, как следствие, доступность такой мебели определяются невысокой стоимостью сырья и минимальным парком технологического оборудования, необходимого для организации процесса производства.

С учетом ужесточения экологических требований все больше увеличивается выпуск мебели из массивной древесины. Обработка массива требует достаточно большого парка технологического оборудования, больших производственных площадей, дорогостоящего сырья и материалов. Финишным этапом технологического процесса изготовления мебели из массива является отделка лакокрасочными материалами, которая позволяет не только подчеркнуть природную красоту древесины, но и защитить ее от внешнего воздействия на длительный промежуток времени. Следует отметить, что неправильный выбор лакокрасочных материалов и несоблюдение технологии на этом этапе приводят к ухудшению внешнего вида даже рационально спроектированного и изготовленного изделия и, соответственно, к увеличению брака, что в конечном итоге влияет на технико-экономические показатели предприятия. Традиционной является отделка изделий из древесины жидкими лакокрасочными материалами, среди перспективных направлений также можно выделить порошковую технологию окраски [4, 5].

Следует отметить, что рынок лакокрасочных материалов в Республике Беларусь представлен широким кругом производителей как отечественных, так и зарубежных. В ассорти-

менте имеются такие бренды, как Sirca, Remmers, Sherwin-Williams, Sayerlack, «Лакокраска», МАВ и др. В соответствии с требованиями стандартов (ГОСТ 31093 [6] и СТБ 1871 [7]) к лакокрасочным материалам и покрытиям на их основе предъявляется целый ряд требований, при этом следует отметить, что большинство производителей при поставке ограничиваются достаточно краткой характеристикой материала, которая зачастую включает только состав, подготовку основания, методы нанесения и способы сушки. Такая информация не позволяет в полной мере оценить эксплуатационные свойства получаемых лакокрасочных покрытий.

Широкое применение лакокрасочных материалов в промышленности, и в частности в деревообработке, диктует необходимость постоянной оценки их качества, что дает возможность предвидеть поведение лакокрасочных материалов в процессе создания защитно-декоративных покрытий, а также прогнозировать свойства покрытий при различных условиях эксплуатации.

Целью проводимых исследований являлась оценка эксплуатационных показателей лакокрасочных покрытий массивной древесины дуба и сосны, образованных с использованием акриловых и полиуретановых импортных лакокрасочных материалов (производство Италия), а также оценка декоративных свойств по величине блеска покрытия.

**Основная часть.** В качестве основных физико-механических показателей лакокрасочных покрытий, которые оценивались в процессе исследований, были следующие:

- твердость лакокрасочных покрытий;
- стойкость к истиранию;
- ударная прочность;
- адгезия лакокрасочного покрытия к древесине.

Испытания по определению стойкости к истиранию, ударной прочности, адгезии и блеска лакокрасочных покрытий проводились на образцах, изготовленных из древесины, а испытания по определению их твердости – на стеклянных образцах. Подготовка образцов к нанесению лакокрасочных покрытий и проведению испытаний осуществлялась в соответствии с требованиями ГОСТ 8832 [8].

Для проведения исследований использовались следующие материалы:

- краситель;
- акриловый и полиуретановый грунты;
- акриловый и полиуретановый лаки.

Выбор акриловых и полиуретановых материалов для исследований основывается на том, что они пользуются наибольшей популярно-

стью для отделки изделий из древесины и древесных материалов, так как обладают высокими эксплуатационными и технологическими показателями [9–11]. К основным достоинствам полиуретановых материалов относятся высокая твердость и адгезия, хорошие декоративные свойства, а к достоинствам акриловых – атмосферо- и светостойкость, прочность, декоративность, а также хорошая межслойная адгезия и адгезия к различным основаниям.

В качестве основы под лакокрасочные покрытия использовались мебельные щиты, изготовленные из древесины дуба и сосны. На них методом распыления был нанесен слой красителя, слой грунтовки и два слоя лака с промежуточным шлифованием. При создании защитно-декоративных покрытий на образцах из древесины расход красителя составлял 100–120 г/м<sup>2</sup>, а грунтовки и лака – 160–180 г/м<sup>2</sup> на один слой. Сушка производилась в естественных условиях ( $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 60 \pm 5\%$ ). На стеклянные пластины лакокрасочный материал наносился методом распыления в один слой с получением сухой пленки толщиной 20–25 мкм.

Для проведения испытаний было сформировано 4 партии образцов. К первой партии относили образцы, изготовленные из древесины дуба с двумя финишными слоями акрилового лака, ко второй партии – из древесины сосны с двумя финишными слоями акрилового лака, к третьей партии – из древесины дуба с двумя финишными слоями полиуретанового лака, к четвертой партии – из древесины сосны с двумя финишными слоями полиуретанового лака.

Для проведения всех видов испытаний в каждую партию входили образцы со следующими размерами и в количестве:

- 90×120×1,5 мм – 2 образца (стеклянные);
- 100×100×20 мм – 3 образца (древесина);
- 250×250×20 мм – 3 образца (древесина);
- 50×50×20 мм – 10 образцов (древесина).

Определение стойкости лакокрасочных покрытий к истиранию проводилось согласно ГОСТ 27820 [12].

Стойкость лакокрасочных покрытий к истиранию определяется по следующим величинам:

- коэффициенту стойкости к истиранию ( $K$ );
- числу сошлифовки ( $Z$ ).

Коэффициент стойкости характеризует изменение массы образца с лакокрасочным покрытием, определенной в граммах, на 50 оборотов стола при воздействии вращающихся роликов с абразивным материалом.

Число сошлифовки характеризует число оборотов стола, после которого декоративный рисунок истерся на 50% площади контакта с

абразивными роликами или стала видна окрашиваемая поверхность.

Определение ударной прочности защитно-декоративных покрытий проводилось согласно ГОСТ 27736 [13]. Суть методики заключается в нахождении максимальной высоты, при падении с которой шарик не повреждает покрытия в результате трех испытаний на одном образце.

Определение адгезии лакокрасочных покрытий проводилось согласно ГОСТ 27325 [14].

Величину адгезии  $\sigma_A$ , МПа, вычисляли по следующей формуле:

$$\sigma_A = \frac{P}{S_{\text{от}}}, \quad (1)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка при отрыве цилиндра от поверхности, МПа;  $S_{\text{от}}$  – площадь отрыва, мм<sup>2</sup>.

Определение твердости лакокрасочных покрытий проводилось согласно ГОСТ 5233 [15].

Величину твердости  $H$  в условных единицах определяют по формуле

$$H = \frac{t}{t_1}, \quad (2)$$

где  $t$  – время затухания колебаний маятника от 5 до 2° на испытуемом лакокрасочном покрытии, с;  $t_1$  – время затухания колебаний маятника от 5 до 2° на пластине из фотостекла («стеклянное число»), с.

Определение блеска лакокрасочных покрытий проводилось с помощью фотоэлектрического блескомера Multigloss-268 с углом падения светового потока 60°.

Сущность метода определения блеска прозрачных лаковых покрытий заключается в определении величины фототока, возбуждаемого в фотоприемнике под действием света, зеркально отраженного от поверхности контролируемого покрытия с учетом светлоты окрашиваемого материала [16].

Результаты проведения испытаний по определению физико-механических показателей лакокрасочных покрытий представлены в таблице.

Анализ полученных результатов по определению износостойкости показывает, что акриловое покрытие на обоих образцах древесины имеет меньшую потерю массы при 50 оборотах табер-теста в сравнении с полиуретановым лаком. На образцах из древесины дуба число сошлифовки оказалось ниже, чем на древесине сосны. Древесина дуба имеет более пористую структуру, которая приводит к тому, что часть лакокрасочного материала идет на ее заполнение, вследствие чего происходит уменьшение количества оборотов табер-теста, необходимых для истирания 50% площади покрытия.

### Результаты исследований физико-механических свойств лакокрасочных покрытий

Лакокрасочный материал	Материал основы	Стойкость к истиранию		Ударная прочность, мм	Адгезия, МПа	Твердость	Блеск
		коэффициент стойкости $K_{cp}$	число сошлифовки $Z$				
Акриловый	Сосна	0,126	156	750	1,21	–	65
Полиуретановый	Сосна	0,161	128	1250	1,15	–	43
Акриловый	Дуб	0,087	108	1000	1,85	–	69
Полиуретановый	Дуб	0,125	105	1500	1,58	–	46
Акриловый	Стекло	–	–	–	–	0,69	–
Полиуретановый	Стекло	–	–	–	–	0,60	–

Проанализировав данные по определению ударной прочности, можно сказать, что полиуретановое покрытие более стойкое к ударам, так как по своей природе оно более эластичное, нежели акриловое. На образцах, изготовленных из древесины сосны, ударная прочность ниже по сравнению с образцами древесины дуба. Это связано с тем, что древесина дуба обладает более высокой твердостью и тем самым создает прочное основание для лакокрасочного покрытия, которое меньше подвержено механическим повреждениям.

Из оценки показателей можно сделать вывод, что на древесине дуба величина адгезии выше, чем на древесине сосны, т. е. покрытие обладает более высокими адгезионными свойствами, следовательно, характеризуется более сильным межмолекулярным взаимодействием с поверхностью, а значит, для разделения должна быть затрачена большая удельная работа. Полученные результаты могут быть обусловлены тем, что дуб является открыто пористой породой древесины. Это создает дополнительную площадь контакта за счет проникновения лакокрасочного материала в поры. На древесине сосны показатели величины адгезии ниже в сравнении с древесиной дуба, так как древесина более мягкая, смолистая, с неярко выявленной фактурой. Подтверждением вышесказанного является характер разрушения образцов в процессе испытания. Так, для образцов из древесины дуба был характерен адгезионный вид разрушения (по границе раздела покрытие – клей), а для образцов из сосны – когезионный (по материалу основы). Следует отметить, что акриловые материалы характеризуются лучшим проникновением в поры древесины, тем самым увеличивают величину адгезии по сравнению с полиуретановыми.

Анализ полученных результатов показывает, что твердость покрытий находится на достаточно высоком уровне. Это объясняется тем, что в ходе эксперимента использовались лакокрасочные покрытия с повышенной твердостью. Сравнение двух покрытий между собой показывает, что акриловый лак имеет более высокий показатель твердости, нежели полиуретановый.

Оценка блеска покрытия показала, что акриловое покрытие относится к глянцевому, а полиуретановое – к полуглянцевому.

Для оценки экономической составляющей была рассчитана стоимость создания лакокрасочного покрытия на 1 м<sup>2</sup> площади. В расчет входила стоимость материалов (краситель, грунт, лак), необходимые для создания лакокрасочного покрытия с применением одинаковых методов нанесения. Затраты на акриловые материалы составили – 7,58 руб. на 1 м<sup>2</sup>, а на полиуретановые – 7,48 руб.

**Выводы.** Установлено, что акриловое лакокрасочное покрытие по сравнению с полиуретановым обладает более высокими физико-механическими показателями, а именно: повышенной износостойкостью, твердостью и адгезией. Кроме того, следует отметить, что акриловые материалы устойчивы к ультрафиолетовому излучению, что исключает выгорание и изменение колера. С точки зрения декоративных свойств акриловое покрытие по степени блеска относится к глянцевым, а полиуретановое – к полуглянцевым. Расчет затрат на материалы для создания 1 м<sup>2</sup> лакокрасочного покрытия показал, что отличия между акриловым и полиуретановым покрытиями минимальные.

### Литература

1. Зоткина А. Н. Тенденции развития рынка мебели Республики Беларусь в условиях мирового финансово-экономического кризиса // Научные труды БГЭУ. 2010. С. 158–164.
2. Европейский гарнитур: чем обставлен глобальный рынок мебели. URL: <https://neg.by/novosti/otkrytj/evropejskij-garnitur> (дата обращения: 06.02.2019).
3. Промышленность Республики Беларусь: статистический сборник / Нац. статист. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2018. 193 с.
4. Прохорчик С. А. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. Минск: БГТУ, 2014. 297 с.

5. Желтоухова Н. А., Новоселова И. В. Лакокрасочные материалы для мебельного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3–2. С. 331–334.
6. Материалы лакокрасочные мебельные. Общие технические условия: ГОСТ 31093–2003. Введ. 01.11.04. Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2004. 12 с.
7. Мебель. Покрытия защитно-декоративные. Технические требования и методы контроля: СТБ 1871–2008. Введ. 01.08.08. Минск: Госстандарт, 2008. 24 с.
8. Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытания: ГОСТ 8832–76. Введ. 01.01.77. М.: Изд-во стандартов, 1977. 16 с.
9. Онегин В. И., Цой Ю. И. Отделка мебели – состояние, перспективы // Известия С.-Пб. лесотехн. акад. 2003. № 169. С. 156–162.
10. Новоселова И. В. Сравнительные показатели эксплуатационных свойств паркетных лаков // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4, № 4 (16). С. 123–129.
11. Митрофанова С. Е. Динамика производства полиуретановых лакокрасочных материалов на мировом и российском рынках // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 14. С. 304–305.
12. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения стойкости защитно-декоративных покрытий к истиранию: ГОСТ 27820–88. Введ. 01.01.89. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.
13. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения ударной прочности защитно-декоративных покрытий: ГОСТ 27736–88. Введ. 20.06.88. М.: Изд-во стандартов, 1988. 5 с.
14. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий: ГОСТ 27325–87. Введ. 17.06.87. М.: Изд-во стандартов, 1987. 6 с.
15. Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытий по маятниковому прибору: ГОСТ 5233–89 (ИСО 1522–73). Введ. 01.01.90. М.: Изд-во стандартов, 1990. 7 с.
16. Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий, не обладающих металлическим эффектом, под углом 20°, 60° и 85°: ГОСТ 31975–2013. Введ. 01.08.14. М.: Стандартинформ, 2014. 22 с.

### References

1. Zotkina A. N. Trends in the Development of the Furniture Market of the Republic of Belarus in the Conditions of the World Financial and Economic Crisis. *Nauchnyye trudy BGEU* [Scientific Works of BSEU], 2010, pp. 158–164 (In Russian).
2. *Evropeyskiy garnitur: chem obstavlen global'nyy rynek mebeli* [European set: how the global furniture market is furnished]. Available at: <https://neg.by/novosti/otkrytj/evropejskij-garnitur> (accessed 06.02.2019).
3. *Promyshlennost' Respubliki Belarus': statisticheskiy sbornik* [Industry of the Republic of Belarus: statistical compilation]. Minsk, 2018. 193 p.
4. Prokhorchik S. A. *Tekhnologiya zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology of protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 297 p.
5. Zheltoukhova N. A., Novoselova I. V. Paints and varnishes for furniture production. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current research directions of the XXI century: theory and practice], vol. 2, no. 3–2, pp. 331–334 (In Russian).
6. GOST 31093–2003. Materials paint and varnish furniture. General specifications. Minsk, Mezhsudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2004. 12 p. (In Russian).
7. STB 1871–2008. Furniture. Protective and decorative coatings. Technical requirements and control methods. Minsk, Gosstandart Publ., 2008. 24 p. (In Russian).
8. GOST 8832–76. Paint materials. Methods for obtaining paint coating for testing. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1977. 16 p. (In Russian).
9. Onegin V. I., Tsoy Yu. I. Furniture decoration – condition, prospects. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2003, no. 169, pp. 156–162 (In Russian).
10. Novoselova I. V. Comparative performance indicators of parquet lacquers. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry magazine], 2014, vol. 4, no. 4 (16), pp. 123–129 (In Russian).
11. Mitrofanova S. Ye. Dynamics of production of polyurethane paints and varnishes in the world and Russian markets. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2014, vol. 17, no. 14, pp. 304–305 (In Russian).

12. GOST 27820–88. Parts and products of wood and wood materials. Method for determining the resistance of protective and decorative coatings to abrasion. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 7 p. (In Russian).

13. GOST 27736–88. Parts and products of wood and wood materials. Method for determination of impact resistance of protective and decorative coatings. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 5 p. (In Russian).

14. GOST 27325–87. Parts and products of wood and wood materials. Method for determining the adhesion of coatings. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1987. 6 p. (In Russian).

15. GOST 5233–89 (ISO 1522–73). Paint materials. Method for determination of hardness of coatings by pendulum device. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1990. 7 p. (In Russian).

16. GOST 31975–2013. Paint materials. Method for determining the gloss of paint coatings that do not have a metallic effect at an angle of 20°, 60° and 85°. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 22 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**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

**Касперович Татьяна Александровна** – технолог технологического отдела промышленных технологий. ООО «Европроект-Центр» 223056, а. г. Сеница, ул. Мирутко, 68-10, Республика Беларусь). E-mail: t.kasperovich@epio.com.

### Information about the authors

**Haiduk Siarhei Siargeevich** – 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

**Kasperovich Tatyana Alexandrovna** – technologist, Industrial Technology Department. LLC "Euro-project-Center" (68-10, Mirutko str., 223056, Senica, Republic of Belarus). E-mail: t.kasperovich@epio.com

*Поступила 12.03.2019*

УДК 53.083.2

**И. Г. Федосенко, Е. В. Чесновский**

Белорусский государственный технологический университет

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭХО-МЕТОДА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ ОСНОВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОРОД**

В статье описывается методика определения и прогнозирования физико-механических и качественных характеристик древесины различных пород, а также элементов древесины различных строительных конструкций при помощи метода неразрушающего контроля.

В зависимости от скорости проходящей звуковой волны, определены качественные характеристики древесины основных строительных пород, произрастающих на территории Республики Беларусь, таких как сосна, ель и береза. Произведена оценка влияния различных качественных характеристик, на скорость прохождения звука через внутреннюю структуру материала.

Полученные модели, связывающие качественные характеристики древесины со скоростью ультразвука, пропущенного через ее структуру, позволяют прогнозировать и оценивать неразрушающим способом со значительной точностью состояние древесины различных пород.

**Ключевые слова:** прогнозирование, древесина, качество, эхо-метод, влажность, плотность, скорость, прочность, модуль упругости, порода.

**I. G. Fedosenko, E. V. Chesnovskii**

Belarussian State Technological University

**APPLICATION OF THE ECHO-METHOD TO PREDICT THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF WOOD OF THE MAIN CONSTRUCTION SPECIES**

The article describes the method of determining and predicting the physico-mechanical and quality characteristics of wood of various species, as well as elements of wood of various building structures, using the method of non-destructive testing.

Depending on the magnitude of the speed of the transmitted sound wave, the qualitative characteristics of the wood of the main construction species growing in the Republic of Belarus, such as pine, spruce and birch, are determined. An assessment was made of the effect of various quality characteristics on the speed of sound through the internal structure of the material.

The resulting models linking the qualitative characteristics of wood with the speed of ultrasound passed through its structure, allow us to predict and evaluate the state of various types of wood with considerable accuracy in a non-destructive way.

**Key words:** forecasting, wood, quality, echo-method, humidity, density, speed, strength, modulus of elasticity, rock.

**Введение.** Древесина является одним из основных строительных материалов. Прогнозирование и оценка качественных характеристик древесины различных пород занимает очень важное место как при строительстве, так и при эксплуатации различных объектов из древесины [1]. При проведении строительных, ремонтных или реставрационных работ оценка качественных характеристик древесины является первоочередной задачей, значительные трудности возникают при отборе образцов для стандартных испытаний на прочность, недостаток информации о физико-механических свойствах древесины может привести к замене части строительной конструкции без полного обоснования утраты ее несущей способности [2].

В настоящий момент ультразвуковой неразрушающий контроль является наиболее мобильным и актуальным для оценки и прогнозирования качественных характеристик древеси-

ны и древесных конструкций. Принцип ультразвукового метода контроля свойств материалов основан на факте, что твердые материалы являются хорошими проводниками звуковых волн [3]. Посредством чего волны отражаются не только от граничных поверхностей, но и от внутренних дефектов (трещины, пустоты, различные включения). Эффект взаимодействия звуковых волн с материалом усиливается по мере уменьшения их длины и, соответственно, увеличения частоты колебаний.

**Основная часть.** С целью определения, прогнозирования и оценки качественных характеристик древесины основных строительных пород, произрастающих на территории Республики Беларусь и прилегающей к ней территории государств-соседей, при помощи скорости проходящего через нее звука был выбран измерительный прибор «Пульсар-2.1» [4]. Прибор позволяет определить прочность, плот-

ность и модуль упругости бетонов, а также звуковой индекс абразивов по предварительно установленным градуировочным зависимостям перечисленных параметров от скорости распространения ультразвуковых импульсов [5].

Работа прибора основана на измерении времени и скорости прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя к приемнику [6]. Измерение скорости распространения ультразвука происходило в двух направлениях: продольном и радиальном.

Работа прибора «Пульсар-2.1» может быть обеспечена [7]:

– при поверхностном прозвучивании, при помощи датчика поверхностного прозвучивания в сборе с коническими насадками на фиксированной базе длиной  $(120 \pm 1)$  мм с сухим контактом;

– при сквозном прозвучивании, при помощи датчика сквозного прозвучивания на произвольной базе с контактной смазкой или поверхностном и угловом прозвучивании с сухим контактом (конусные насадки) [8].

После измерения скорости на тех же образцах были проведены испытания на поперечный изгиб, для расчета модуля упругости [9] по ГОСТ 16484.9-73 [10] и предела прочности по ГОСТ 16483.10-73 [11].

Реальная влажность каждого образца была определена с помощью весового метода по ГОСТ 16483.7-71 [12], а плотность [13] – по ГОСТ 16483.1-84 [14].

В результате дальнейшей проработки полученных данных установлены уравнения регрессионной зависимости скорости распространения звука ( $V$ ) от плотности ( $\rho_6$ ) и влажности ( $W$ ) древесины сосны, ели и березы [15].

Используя представленные выше зависимости, можно легко оценить значение одного из трех входящих в уравнение показателей (скорости звука, плотности и абсолютной влажности древесины), а также спрогнозировать дальнейшее влияние вышеперечисленных качественных характеристик на внутреннюю структуру древесины.

Графические зависимости предела прочности и модуля упругости от скорости проходящего звука в материале представлены в публикации [15].

Ниже представлены уравнения регрессионной зависимости предела прочности ( $\sigma$ ) и модуля упругости ( $E$ ) от скорости проходящего звука ( $c$ ) для древесины сосны, ели и березы соответственно:

$$\begin{aligned}\sigma_c &= 0,01 \cdot (3,09 \cdot 10^{-3} \cdot c^2 - 8,99 \cdot c - \\ &\quad - 2,18 \cdot 10^{-7} \cdot c^3); \\ \sigma_e &= 0,01 \cdot (11,9 \cdot c - 4,53 \cdot 10^{-3} \cdot c^2 + \\ &\quad + 4,59 \cdot 10^{-7} \cdot c^3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= 0,01 \cdot (38,11 \cdot c - 0,015 \cdot c^2 + 1,61 \cdot 10^{-6} \cdot c^3); \\ \sigma &= 0,01 \cdot (2,29 \cdot 10^{-3} \cdot c^2 - 6,28 \cdot c - \\ &\quad - 1,62 \cdot 10^{-7} \cdot c^3); \\ E_c &= 0,001 \cdot (3,56 \cdot 10^{-3} \cdot c^2 - 10,48 \cdot c - \\ &\quad - 2,51 \cdot 10^{-7} \cdot c^3); \\ E_e &= 0,001 \cdot (17,66 \cdot c - 7,19 \cdot 10^{-3} \cdot c^2 + \\ &\quad + 7,53 \cdot 10^{-7} \cdot c^3); \\ E_6 &= 0,001 \cdot (22,99 \cdot c - 9,47 \cdot 10^{-3} \cdot c^2 + \\ &\quad + 1,02 \cdot 10^{-6} \cdot c^3); \\ E &= 0,001 \cdot (2,84 \cdot 10^{-3} \cdot c^2 - 8,12 \cdot c - \\ &\quad - 2,01 \cdot 10^{-7} \cdot c^3). \end{aligned}$$

Зависимости предела прочности, модуля упругости древесины при произвольной влажности ( $W$ ) и базисной плотности ( $\rho_6$ ) от скорости проходящего звука ( $c$ ) описываются следующими формулами:

$$\begin{aligned}\sigma_c &= 0,01 \cdot (1,22 \cdot c - 29,77 \cdot W + 3,34 \cdot \rho_6); \\ \sigma_e &= 0,01 \cdot (1,85 \cdot c - 3,01 \cdot W - 13,34 \cdot \rho_6); \\ \sigma_6 &= 0,01 \cdot (2,41 \cdot c - 33,79 \cdot W - 5,05 \cdot \rho_6); \\ \sigma &= 0,01 \cdot (0,748 \cdot c - 27,42 \cdot W - 8,74 \cdot \rho_6); \\ E_c &= 0,001 \cdot (1,09 \cdot c - 35,84 \cdot W + 6,08 \cdot \rho_6); \\ E_e &= 0,001 \cdot (3,52 \cdot c - 4,17 \cdot W - 38,32 \cdot \rho_6); \\ E_6 &= 0,001 \cdot (1,97 \cdot c - 37,89 \cdot W + 0,409 \cdot \rho_6); \\ E &= 0,001 \cdot (0,499 \cdot c - 36,12 \cdot W + 12,91 \cdot \rho_6). \end{aligned}$$

Во многих литературных источниках для расчета модуля упругости всех видов материалов рекомендовано уравнение линеаризованного вида:  $E = a \cdot \rho \cdot V^2$ , однако в результате исследований во время оценки линеаризованной и полиномиальной моделей было установлено, что полиномиальная модель лучше подходит для определения зависимости модуля упругости древесины от скорости проходящего звука в материале.

Уравнения регрессионной зависимости полинома, которые были получены нами в ходе обработки экспериментальных данных, показывают более точные значения при расчете качественных характеристик древесины отдельных пород по скорости проходящего через нее звука.

Для определения и прогнозирования качественных характеристик древесины основных строительных пород нам необходима скорость проходящего через нее звука, которая, в свою очередь, зависит от плотности. Точное определение плотности зачастую затруднительно и требует частичного разрушения исследуемого материала или конструкции, что недопустимо для неразрушающего определения качественных характеристик.

Поэтому использование полиномиального уравнения для прогнозирования качественных характеристик основных строительных пород по скорости проходящего звука предпочтительней.

**Заключение.** Полученные модели, связывающие физико-механические свойства и каче-



ственные характеристики со скоростью прохождения звука, пропущенного через структуру древесины, позволяют определять и прогнозировать неразрушающим способом со значительной точностью состояние древесины основных строительных пород, произрастающих

на территории Республики Беларусь и прилегающей к ней территории. Также они дают возможность планировать мероприятия по консолидации материала, укреплению материала строительной конструкции или замене утраченного несущую способность элемента.

### Литература

1. Горшин С. Н., Максименко Н. А., Горшина Е. С. Защита памятников деревянного зодчества. М.: Наука, 1992. 279 с.
2. Интеграция археологических и этнографических исследований: сб. науч. тр.: в 2 т. / Ин-т археологии и этнографии. Иркутск, 2013. Т. 2. 310 с.
3. Сергиенко Ю. К. Исследование ультразвукового метода обнаружения внутренней гнили в круглых лесоматериалах: автореф. ... дис. канд. техн. наук / Моск. лесотехн. ин-т. М., 1968. 26 с.
4. Бирдаров Н. Влияние некоторых факторов на акустические свойства древесины // Лесной вестник. 2013. № 3. С. 112–115.
5. Физические методы испытаний древесины / А. Н. Чубинский [и др.]. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 125 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. трудов / Брянск. гос. инженер.-технол. акад. Брянск, 2011. Вып. 30. С. 228–235.
7. Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия: ГОСТ Р 52931-2008. Введ. 01.07.2009. М.: Стандартинформ, 2009. 31 с.
8. Bucur V. Acoustics of Wood. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag Publ., 2006. 394 p.
9. Сивов Ю. А. Определение скорости звука, модуля юнга и внутреннего трения резонансным методом / Томск. политех. ун-т. Томск, 2012. 9 с.
10. Древесина. Метод определения модуля упругости при статическом изгибе: ГОСТ 16483.9-73. Введ. 01.07.74. М.: Изд-во стандартов, 1974. 7 с.
11. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе: ГОСТ 16483.3-84. Введ. 01.07.85. М.: Изд-во стандартов, 1985. 7 с.
12. Древесина. Метод определения влажности: ГОСТ 16483.7-71. Введ. 01.01.73 М.: Издательство стандартов, 1973. 4 с.
13. Пауль Э. Э., Кухта В. Н. Зависимость механических свойств древесины от ее плотности // Лесное и охотничье хозяйство. 2011. № 10. С. 20–23.
14. Древесина. Метод определения плотности: ГОСТ 16483.1-84. Введ. 01.07.85. М.: Изд-во стандартов, 1985. 7 с.
15. 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.

### 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. *Integratsiya arkhologicheskikh i etnograficheskikh issledovaniy: sbornik nauchnykh trudov: v 2 tomakh* [Integration of archaeological and ethnographic research: collection of scientific papers: in 2 vol.]. Irkutsk, 2013, vol. 2. 310 p.
3. Sergienko Yu. K. *Issledovaniye 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).
4. Birdarov N. The influence of some factors on the acoustic properties of wood. *Lesnoy vestnik* [Forest Newsletter], 2013, no. 3, pp. 112–115 (In Russian).
5. Chubinskiy A. N., Tambi A. A., Varankina G. S., Fedyayev A. A., Chubinskiy M. A., Shvets V. L., Chauzov K. V. *Fizicheskiye metody ispytaniy drevesiny* [Physical Methods of Testing Wood]. St. Petersburg, SPbGLTU Publ., 2015. 125 p.
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'nyye problemy lesnogo kompleksa"* [Proceedings of scientific papers "Actual problems of the forest complex"]. Bryansk, 2011, issue 30, pp. 228–235 (In Russian).

7. GOST R 52931-2008. Devices for control and regulation of technological processes. General specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 31 p. (In Russian).
8. Bucur V. Acoustics of Wood. Berlin; Heidelberg, Springer-Verlag Publ., 2006. 394 p.
9. Sivov Yu. A. *Opredeleniye skorosti zvuka, modul'ia yunga i vnytrennego trenia rezonansnym metodom* [Determination of the speed of sound, the modulus of the yung and internal friction by the resonance method]. Tomsk, 2012. 9 p.
10. GOST 16483.9-73. Wood. Method for determining the modulus of elasticity under static bending. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1974. 7 p. (In Russian).
11. GOST 16483.3-84. Wood. Method for determining the ultimate strength in static bending. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985. 7 p. (In Russian).
12. GOST 16483.7-71. Wood. Method for determination of humidity. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1973. 4 p. (In Russian).
13. Paul E. E., Kukhta V. N. Dependence of the mechanical properties of wood on its density. *Lesnoye i ohotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and Hunting], 2011, no. 10, pp. 20–23 (In Russian).
14. GOST 16483.1-84. Wood. Method for determining the density. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985. 4 p. (In Russian).
15. Fedosenko I. G., Chesnovskii E. V., Mazanik N. V. Development of a nondestructive method for assessing the state of timber constructions of historical monuments. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources. 2017, no. 2, pp. 273–278 (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

**Chesnovskii Evgenii 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 11.03.2019

УДК 674-419.32

**И. И. Веретиков**

Белорусский государственный технологический университет

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТНОГО И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ**

Произведены опытные исследования по влиянию температурно-влажностных факторов на значения предела прочности при скалывании образцов фанеры различных марок, а также сквозное прозвучивание образцов фанеры до и после температурно-влажностного 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 температурно-влажностных 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 температурно-влажностное воздействие образцов фанеры марок ФК и ФСФ приводит к снижению предела прочности при скалывании. 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

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRENGTH INDICATORS OF PLYWOOD PRODUCTS WHEN STUDYING THE TEMPERATURE AND MOISTURE EXPOSURE BY USING THE STANDARD AND NON-DESTRUCTIVE CONTROL METHODS**

Produced a pilot study on the effect of temperature and moisture 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 and moisture 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 and moisture 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 and moisture effect of samples of brands of urea-formaldehyde plywood and phenol-formaldehyde plywood leads to a decrease in tensile strength for shearing. 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, клееные синтетическими фенолформальдегидными и карбамидными клеями, применяют для покрытий производственных зданий, складов, ангаров, театральных, 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 [1].

Клеевое соединение – сложная система, надежность которой зависит от сохранности адгезионных и когезионных связей. В оценке долго-

вечности клеевых соединений преимущественное значение имеет определение их прочности [2].

Водостойкость и атмосферостойкость – это основные показатели, определяющие эксплуатационные характеристики клееной древесины [3]. Повышенная влажность ускоряет процессы старения, которые обусловлены нарушением структуры и строения макромолекул связующего вещества [4]. Особенно это важно для карбамидоформальдегидных смол, отличительной особенностью которых является повышенная чувствительность к воздействию влаги [5].

Наряду с этим немаловажную роль в определении долговечности клееной древесины играет определение термостойкости либо теплостойкости клея и древесины [6]. В связи с этим различают теплостойкость – сохранение механических свойств и термостойкость – сохранение структуры и химического состава полимера при нагревании [7]. К примеру, фенолформальдегидные клеи 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 [8].

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 [9].

Поэтому целью настоящей работы является определение влияния температурно-влажностного воздействия на прочностные показатели клеевых соединений, 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 [11]. Форма и размеры образцов представлены на рис. 1.

Оценка прочностных характеристик клеевого соединения проводилась на образцах до и после температурно-влажностного воздействия согласно ГОСТ 9624 и при помощи метода неразрушающего контроля. Нагревание образцов

фанеры марки ФК и ФСФ производили партиями в количестве 10 шт. в течение 6 ч при температуре 40, 60, 80°C и влажности 20%.

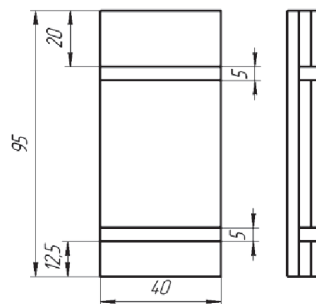


Рис. 1. Форма и размеры образцов фанеры

Оценку методом неразрушающего контроля проводили при сквозном прозвучивании образцов 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. 2).



Рис. 2. Измеритель времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2»

Расчет прочности  $R$ , МПа, 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  $A_i$  – коэффициенты, заносящиеся в прибор в экспоненциальной форме, МПа;  $V$  – числовое значение скорости ультразвука, м/с.

Также была определена влажность контрольных образцов сушильно-весовым способом. Данные приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Влажность контрольных образцов

Вид	$m$ , г	$m_0$ , г	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  $\tau_{ск}$ , МПа, и по древесине  $\tau_{др}$ , МПа, вычисляли по формулам:

$$\tau_{ск} = \frac{P_{max}}{b \cdot l_1}; \quad (2)$$

$$\tau_{др} = \frac{P_{max}}{b \cdot l_2}, \quad (3)$$

где  $P_{max}$  – максимальная нагрузка, Н;  $b$  – ширина плоскости скалывания, мм;  $l_1$  и  $l_2$  – длина плоскости скалывания, мм.

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.

Таблица 2

**Результаты испытаний образцов на предел прочности при скалывании**

Температура нагревания, °С	Предел прочности при скалывании, МПа	
	Фанера марки ФК	Фанера марки ФСФ
20	1,85	2,28
40	1,28	1,32
60	1,22	1,58
80	1,10	1,25

Расчетная формула для определения скорости распространения ультразвука  $V$ , 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.

Сквозное прозвучивание образцов методом неразрушающего контроля было произведено на образцах фанеры марки ФК и ФСФ до и после температурно-влажностного воздействия. 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 [12]. Данные отражены в табл. 3.

Исследование осуществлялось на образцах в количестве 10 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 из 6–10 измерений [13]. Таким образом, были зафиксированы скорость и время распространения ультразвука.

Таблица 3

**Результаты испытаний образцов фанеры марок ФК и ФСФ после прозвучивания**

Скорость распространения ультразвука, м/с	Время распространения звука, мкс	Толщина образца, мм
До нагревания образцов		
406	9,85	4
После нагревания при температуре 40°С и влажности 20%		
406	9,85	4
После нагревания при температуре 60°С и влажности 20%		
406	9,85	4
После нагревания при температуре 80°С и влажности 20%		
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.

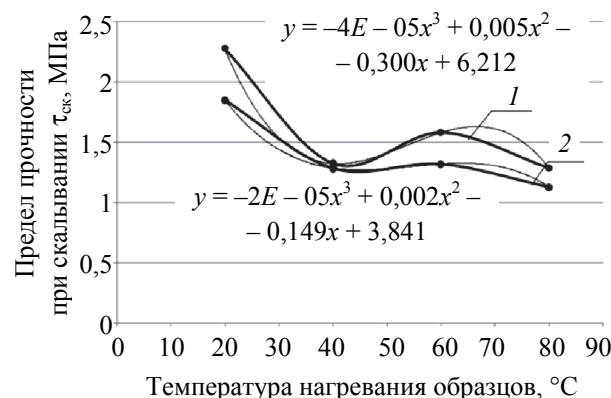


Рис. 3. График зависимости предела прочности от скорости распространения ультразвука: 1 – марка фанеры ФСФ; 2 – марка фанеры ФК

Для оценки взаимосвязи значений предела прочности при скалывании образцов фанеры до

и после вымачивания с 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  $x$ ;  $x_{cp}$  – среднее арифметическое для переменной  $x$ ;  $y_i$  – значения переменной  $y$ ;  $y_{cp}$  – среднее арифметическое значение для переменной  $y$ .

Коэффициент корреляции – безразмерная величина, которая может принимать как положительные, так и отрицательные значения, но по абсолютной величине всегда меньше 1 [14].

Результат расчета показал, что по абсолютной величине коэффициент корреляции равен 0,71. Считается, если коэффициент корреляции находится в диапазоне от 0,50 до 0,75, то это характеризует среднюю функциональную связь [14].

**Заключение.** Таким образом, при длительном температурно-влажностном воздействии в диапазоне возможных в эксплуатации температур 40, 60 и 80°C и влажности 20% прочность соединений снижается либо из-за термодеструкции клеев (карбамидные), либо из-за термического ослабления древесины (фенольные клеи).

Выбор условий температурно-влажностной обработки фанеры обусловлен таким образом, чтобы значения равновесной влажности фанеры находились в пределах эксплуатационных норм [15].

Из диаграммы равновесной влажности древесины следует, что при температуре обрабатываемой среды 40–80°C и относительной влажности 20% равновесная влажность древе-

сины находится в пределах 6%. Таким образом, сушка образцов во время обработки и влажностные внутренние напряжения происходить не должны.

В результате проведенных исследований выявлено, что температурно-влажностное воздействие отразилось на уменьшении предела прочности образцов при скалывании путем разрушающего контроля.

При этом для образцов фанеры марки ФК снижение показателей отмечается в наибольшей степени на 40,32%; для образцов фанеры марки ФСФ – на 45,00%. Следует отметить, что первоначальные значения предела прочности при скалывании образцов фанеры ФСФ выше на 23,24% по сравнению с аналогичными испытаниями образцов фанеры марки ФК.

При изучении неразрушающего контроля образцов с использованием прибора для регистрации скорости и времени распространения ультразвука было отмечено, что характер изменения скорости ультразвука остается постоянным. Это характеризуется постоянным значением измеряемой базы прозвучивания [16].

Данный способ неразрушающего контроля имеет смысл при таком воздействии на образцы клеевых соединений, так как по полученным зависимостям с коэффициентами уравнений возможно получение значений прочности образцов в зависимости от скорости распространения ультразвука [17].

Установление взаимосвязи между данными методами контроля, а именно полученная величина коэффициента корреляции, подтверждает функциональную среднюю взаимосвязь и является основой научного подхода к изучению влияния различных эксплуатационных факторов на прочностные показатели фанеры.

### Литература

1. Хрулев В. М. Испытание фанеры. М.: Гослесбумиздат, 1960. 72 с.
2. Хрулев В. М. Долговечность клееной древесины. М.: Лесная пром-сть, 1971. 160 с.
3. Иванов Ю. М., Лепарский Л. О., Сенчило Ю. Я. Прочность и напряжения клеевых соединений древесины. М.: Лесная пром-сть, 1973. 160 с.
4. Веретиков И. И. Влияние температурно-влажностных воздействий на прочностные показатели клеевых соединений // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 170–173.
5. 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.
6. Рындин В. О. Исследование старения древесных композитов под воздействием различных эксплуатационных факторов // Сборник авторефератов магистров ТГТУ. 2006. № 7. С. 21–34.
7. Кириллов А. Н. Конструкционная фанера. М.: Лесная пром-сть, 1981. 112 с.
8. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: СТО 36554501-009-2007. М.: Строительство, 2007. 13 с.
9. Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля. Владивосток: ДВГТУ, 2007. 243 с.
10. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании: ГОСТ 9624-93. Введ. 01.01.95. М.: Изд-во стандартов, 1994. 10 с.
11. Древесина слоистая клееная. Отбор образцов и общие требования при испытании: ГОСТ 9620-94. Введ. 01.01.96. М.: Изд-во стандартов, 1995. 8 с.

12. Бербеков Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона // Молодой ученый. 2012. № 11. С. 20–23.
13. Ефимов В. А., Петрова А. П., Аниховская Л. И. Ускоренные испытания клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 7. С. 1–12.
14. Федосенко И. Г. Основы научных исследований и инновационная деятельность. Минск: БГТУ, 2016. 97 с.
15. Кашубский Н. В., Сельский А. А., Смолин А. Ю. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 108 с.
16. Савицкий С. С. Методы и средства неразрушающего контроля. Минск: БНТУ, 2012. 183 с.
17. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве. СПб.: ГУАП, 2007. 137 с.

### References

1. Khrulev V. M. *Ispytaniye fanery* [Plywood tests]. Moscow, Goslesbumisdad Publ., 1960. 72 p.
2. Khrulev V. M. *Dolgovechnost' kleenoy drevesiny* [The durability of laminated wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 160 p.
3. Ivanov Yu. M., Leparskiy L. O., Senchilo Yu. Ya. *Prochnost' i napryazheniya kleevykh soyedineniy drevesiny* [Strength and stresses of glued wood joints]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 160 p.
4. Veretnikov 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).
5. 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).
6. Ryndin V. O. Study of the aging of wood composites under the influence of various operational factors. *Sbornik avtoreferatov magistrrov TGTU* [Collection of Master's Abstracts of TGTU], 2006, no. 7, pp. 21–34 (In Russian).
7. Kirillov A. N. *Konstruksionnaya fanera* [Construction plywood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 112 p.
8. STO 36554501-009-2007. Concretes. The ultrasonic method for determining the strength. Moscow, Stroitel'stvo Publ., 2007. 13 p. (In Russian).
9. Kanevskiy I. N. *Nerazrushayushchiye metody kontrolya* [Non-destructive testing methods]. Vladivostok, DVGTV Publ., 2007. 243 p.
10. GOST 9624-93. Wood laminated glued. Method for determining the breaking strength. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1994. 10 p. (In Russian).
11. GOST 9620-94. Wood laminated glued. Sampling and general requirements for testing. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1995. 8 p. (In Russian).
12. Berbekov Zh. V. Non-destructive methods for controlling the strength of concrete. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2012, no. 11, pp. 20–23 (In Russian).
13. 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).
14. Fedosenko I. G. *Osnovy nauchnykh issledovaniy i innovatsionnaya deyatel'nost'* [Fundamentals of scientific research and innovation activities]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 97 p.
15. Kashubskiy N. V., Sel'skiy A. A., Smolin A. Yu. *Nerazrushayushchiye metody kontrolya materialov i izdeliy* [Non-destructive methods of control of materials and products]. Krasnoyarsk: IPK SFU Publ., 2009. 108 p.
16. Savitskiy S. S. *Metody i sredstva nerazrusayushchego kontrolya* [Methods and means of non-destructive testing]. Minsk, BNTU Publ., 2012. 183 p.
17. Sudarikova Ye. V. *Nerazrushayushchiy kontrol' v proizvodstve* [Non-destructive testing in production]. St. Petersburg, GUAP Publ., 2007. 137 p.

### 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 11.03.2019

# ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

---

УДК 621.039.553–027.45

**Н. О. Азовская, В. В. Перетрухин, Г. А. Чернушевич**  
Белорусский государственный технологический университет

## **РИСКИ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ РЕСУРСОВ**

Исследования последствий воздействия ионизирующих излучений на здоровье людей показывают, что даже небольшие дозы излучения повышают риски появления врожденных дефектов и генетических болезней у населения и, как правило, приводят к развитию острой лучевой болезни. Отрицательное воздействие ионизирующих излучений на организм человека определяется главным образом величиной дозы, поглощенной конкретным органом, и возникшими вследствие этого нарушениями его функционирования.

Поглощенная доза от внешнего облучения и радионуклидов, абсорбированных при дыхании, инкорпорированных с пищей, зависит от интенсивности, времени воздействия ионизирующего излучения, вида и энергии излучения, периода полураспада, физико-химических свойств радионуклидов, распределения по органам и тканям человека и скорости выведения из организма. Стратегия реабилитации загрязненных радионуклидами территорий заключается в снижении доз облучения до величин, обеспечивающих достижение приемлемого уровня радиационного риска.

Безопасные условия труда в лесном комплексе Беларуси обеспечиваются проведением радиационного мониторинга работающих и потребителей продукции. Отсюда основной задачей радиационной безопасности населения является осуществление комплекса защитных мероприятий, направленных на исключение всякого необоснованного облучения и снижение индивидуальных и коллективных доз облучения.

**Ключевые слова:** риски облучения, ионизирующее излучение, лесные ресурсы, поглощенная доза, радиоактивное загрязнение, радиационный контроль

**N. O. Azovskaya, V. V. Peretrukhin, G. A. Chernushevich**  
Belarusian State Technological University

## **RADIATION RISKS OF WORKERS IN THE FOREST COMPLEXES OF BELARUS WHEN USING RADIOACTIVELY POLLUTED RESOURCES**

Studies of the effects of ionizing radiation on human health show that even small doses of radiation increase the risk of birth defects and genetic diseases in the population and, as a rule, leads to the development of acute radiation sickness. The negative impact of ionizing radiation on the human body is mainly determined by the amount of dose absorbed by a particular organ, and the resulting violations of its functioning.

The absorbed dose from external irradiation and radionuclides absorbed during respiration, incorporated with food, depends on the intensity, time of exposure to ionizing radiation, type and energy of radiation, half-life, physical and chemical properties of radio nuclides, the distribution of human organs and tissues and the rate of excretion from the body. The strategy for the rehabilitation of radionuclide-contaminated areas is to reduce radiation doses to levels that achieve an acceptable level of radiation risk. Safe working conditions in the forest complex of Belarus are provided by radiation monitoring of workers and consumers of products. Hence, the main task of radiation safety of the population is the implementation of a set of protective measures aimed at eliminating any unjustified exposure and reducing individual and collective radiation doses.

**Key words:** radiation risks, ionizing radiation, forest resources, absorbed dose, radioactive contamination, radiation control.

**Введение.** Проблема радиоактивного загрязнения лесных экосистем и использования лесохозяйственной продукции, заготовленной

в загрязненных лесах, актуальна и по истечении 33 лет после аварийных выбросов на Чернобыльской АЭС в 1986 г.



Исследования последствий воздействия ионизирующих излучений на здоровье людей, выполненные до чернобыльской аварии, показывают, что радиация является самым мощным канцерогенным фактором по уровню воздействия на людей. Более того, даже небольшие дозы ионизирующей радиации повышают риски появления врожденных дефектов и генетических болезней [1].

Данные о связи между повреждениями в генетическом аппарате и целым рядом тяжелых болезней позволяют сделать вывод, что не существует безопасной дозы облучения и что при любой, даже самой малой дозе облучения риск возникновения целого ряда заболеваний пропорционален дозе облучения. При низких дозах облучения риск ракового заболевания на единицу поглощенной дозы выше, чем при средних и высоких дозах.

Под влиянием ионизирующих излучений в организме происходят торможение функций кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, расстройство деятельности желудочно-кишечного тракта, снижение сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям, увеличение числа лейкоцитов (лейкоцитоз), раннее старение [2].

В настоящее время наибольшая часть (70%) территорий радиоактивного загрязнения лесного фонда отнесена к зоне с периодическим радиационным контролем с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 37 до 185 кБк/м<sup>2</sup>. Результаты прогноза показывают, что радиоактивное загрязнение древесного сырья, ограничивающее ее использование, следует ожидать до 2046 г. на территориях с плотностью радиоактивного загрязнения земель лесного фонда более 150 кБк/м<sup>2</sup> (табл. 1).

Таблица 1  
Загрязнение территории лесного фонда цезием-137 по ПЛХО

Наименование ПЛХО	Общая площадь лесного фонда, тыс. га	Площадь загрязнения цезием-137, тыс. га	
		на 01.01.2019	прогноз на 2046 г.
Брестское	1282,8	72,5	26,0
Витебское	1634,3	0,1	0
Гомельское	1818,2	774,9	512,8
Гродненское	909,6	17,5	1,6
Минское	1492,4	28,4	8,43
Могилевское	1212,8	385,8	259,5
Итого	8349,8	1279,2	808,3

Загрязненный лесной фонд является источником радиационной опасности для населения и работников леса [3]. Нынешнее состояние окружающей

среды, несмотря на время, прошедшее с момента катастрофы на Чернобыльской АЭС, оказывает существенное влияние на здоровье населения, проживающее в экологически неблагоприятных регионах Республики Беларусь. До настоящего времени, несмотря на процессы естественного физического распада цезия-137 и стронция-90, загрязнение этими радионуклидами древесины и пищевой продукции леса в пострадавших от аварии регионах Беларуси уменьшается крайне медленно, за 33 года после аварии площадь загрязнения лесов сократилась с 1,73 до примерно 1,27 млн. га. Такая ситуация обуславливается рядом факторов: местонахождением радионуклидов преимущественно в прикорневом слое почв, биофизическими и физико-химическими процессами в системе «почва – радионуклиды – растения», обуславливающих высокую усвояемость радионуклидов растениями.

**Основная часть.** На загрязненных радионуклидами территориях лесного фонда в соответствии с «Правилами ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС» организована особая система ведения лесного хозяйства, 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 [4].

В свете данной проблемы необходимо учитывать, что работники лесного комплекса Беларуси подвергаются многофакторному радиационному воздействию (внешнему, внутреннему и контактному облучению), эффект которого может оказаться более значительным, чем при изолированном действии того или иного фактора.

При воздействии ионизирующих излучений на организм человека в тканях происходят сложные физические, химические и биологические процессы. Изменения, возникающие в организме под действием ионизирующего излучения, называются радиационными эффектами. Ионизирующие излучения при воздействии на организм человека могут вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты и стохастические беспороговые эффекты [5].

Детерминированные (предопределенные) пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог, катаракта, бесплодие, аномалии в развитии плода) наблюдаются при дозах более 1 Грей.

Возникают непосредственно после воздействия ионизирующих излучений на организм (в течение нескольких часов, дней) или через более продолжительный период времени, в зависимости от полученной дозы. При превышении порогового уровня дозы связь между облучением и возникшим заболеванием однозначна. При дальнейшем увеличении дозы возрастает тяжесть поражения. Чем больше величина дозы, тем больше нарушений возникает в организме человека и тем тяжелее протекает заболевание.

Стохастические (спонтанные, возникающие случайно при дозах менее 1 Грей) беспороговые эффекты возникают в том случае, когда облученная клетка не гибнет, а изменяется. Измененная клетка в результате последующих делений приводит к развитию злокачественной опухоли, лейкозу и наследственным болезням. Возникновение заболевания является случайным событием, которое может реализоваться по истечении продолжительного периода после облучения. Этот период называют скрытым или латентным. После завершения латентного периода человек может заболеть, однако может и не заболеть. Протекание заболевания (его тяжесть) не зависит от величины дозы. Полагают, что стохастические эффекты могут возникать при любых, даже при малых дозах облучения. Вероятность возникновения стохастических радиационных эффектов возрастает пропорционально увеличению дозы. Ионизирующие излучения вызывают в организме обратимые и необратимые изменения. Пусковым механизмом развития болезни являются процессы ионизации и возбуждения атомов и молекул в тканях. Повреждение клеточных структур формируется в результате ионизации атомов, молекул и макромолекул с образованием радикалов. Существенную роль в формировании биологических эффектов играют радиационно-химические изменения, обусловленные продуктами радиолитиза воды. Радикал водорода обладает восстановительными свойствами, а гидроксильные радикалы – сильные окислители. Обладая очень высокой химической активностью за счет наличия неспаренного электрона, свободные радикалы взаимодействуют друг с другом и с растворенными в воде молекулами других веществ, в результате чего возникают перекисные соединения и свободные радикалы других молекул. Возникшие соединения вступают в химические реакции с неповрежденными молекулами белка, ферментов и других элементов биоткани, образуя новые токсические соединения – радиотоксины, что приводит к нарушению биохимических процессов в организме, а при больших дозах – к развитию лучевой болезни.

При осуществлении комплекса защитных мер следует учитывать, что главную дозовую нагрузку от воздействия радиации (по различным

оценкам от 70 до 90%) жители загрязненных районов Беларуси получают за счет потребления продуктов питания, произведенных в частном секторе, и даров леса, не прошедших промышленной переработки. Дозы внешнего облучения работников лесного хозяйства в 2–3 раза выше по сравнению с остальным сельским населением, работниками других отраслей экономики республики. Оценка состояния радиационной безопасности должна основываться на характеристике загрязнения окружающей среды и анализе доз облучения, получаемых отдельными группами населения от всех источников ионизирующего излучения. В этих условиях научное исследование проблем, связанных с ведением лесного хозяйства в зонах с повышенным радиационным фоном, приобретает большую актуальность.

Учитывая высокую опасность ионизирующих излучений для человека, для решения проблемы защиты работников лесного комплекса от их воздействия важное место отводится строгому соблюдению основных принципов и норм радиационной безопасности:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения;
- исключение всякого необоснованного облучения;
- поддержание на возможно низком уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц.

Системная работа по снижению риска облучения работников лесного комплекса и населения, проживающего на загрязненных территориях, обеспечивается комплексом защитных мероприятий.

*Организационно-технические мероприятия* – 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 в соответствии с ТКП 240-2010 при плотности загрязнения почв цезием-137 более 37 кБк/м<sup>2</sup> [6].

Радиационный мониторинг лесного фонда осуществляется на постоянных пунктах наблюдения (ППН), которые и образуют первичную сеть радиационного мониторинга леса (РМЛ) [7]. Объектами радиационного мониторинга являются лесная подстилка, почва, растения и их части, грибы, ягоды. К контролируемым параметрам относят мощность дозы гамма-излучения, активность цезия в объектах радиационного мониторинга леса. Основные задачи РМЛ – изучение динамики и факторов, влияющих на накопление цезия-137 в контролируемых объектах [8].

Организация и проведение радиационного мониторинга возлагается на специалистов

службы радиационного контроля, прошедших специальную подготовку в области радиационной безопасности [9]. Радиационное обследование лесосек проводится в лесных кварталах с плотностью загрязнения почв цезием-137 более 37 кБк/м<sup>2</sup> [10]. Радиационный контроль на объектах лесного хозяйства, на рабочих местах проводится по ТКП 250-2010 [11].

На деревоперерабатывающих предприятиях, использующих сырье из загрязненных лесхозов, проводится обязательный радиационный контроль, который включает проверку содержания цезия-137 в каждой партии произведенной продукции и оформление радиационного паспорта, подтверждающего безопасность отгружаемой партии [12].

Дозиметрический и радиометрический контроль осуществляется аккредитованной лабораторией при поступлении древесного сырья на склад. Необходимость радиационного контроля обусловлена тем, что складирование больших объемов древесины, содержащей радионуклиды даже в пределах допустимых норм, приводит к локальному повышению радиационного фона, норма которого находится в пределах 0,1–0,2 мкЗв/ч [13]. Для радиационного контроля сырья и готовой продукции используются дозиметры МКС-АТ6130, МКС-АТ1117М, гамма-радиометры РУГ-91М, РКГ-АТ1320А и спектрометры.

*Технологические защитные мероприятия* включают малолюдные технологии, соблюдение сезонности при производстве лесохозяйственных работ, их механизацию, охрану лесов от пожаров [14]. Эти меры требуют дополнительных финансовых затрат, так как 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, должны иметь медицинское заключение о допуске по состоянию здоровья к работе.

Использование техники с высоким коэффициентом защиты от гамма-излучения при производстве лесохозяйственных работ, сезонный фактор снижают радиационное воздействие на работающих. Зимой мощность дозы гамма-излучения снижается на 30–40% за счет снежного покрова и промерзания грунта. При снежном покрове не образуется пыль, снижается загрязнение техники и поступление радионуклидов внутрь организма [15].

Использование средств индивидуальной защиты работающими исключает радиационное воздействие через органы дыхания и кожные покровы. Плотность загрязнения радионуклидами

кожи человека и одежды составляет примерно 17% от плотности загрязнения местности.

*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 [16] и РДУ-99 [17].

Радиоактивное загрязнение создало ряд ограничений на использование древесных ресурсов. Так, допустимые уровни содержания цезия-137 в древесном топливе, используемом в промышленных котельных и мини-ТЭЦ, ограничено 200 Бк/кг [18]. При удельной активности древесного топлива более 200 Бк/кг получают зольные отходы с активностью более 10 кБк/кг, которые требуют захоронения. Поэтому большие объемы древесных ресурсов не могут использоваться на топливо из-за опасности загрязнения окружающей среды высокоактивными зольными отходами.

Для исключения облучения работников лесхозов сверхнормативными дозами на загрязненной территории правилами вводится ограничение времени работы на ней и обеспечивается соблюдение предельно допустимой продолжительности работы (ПДПР) в часах за год. При плотности загрязнения почв цезием-137 до 555 кБк/м<sup>2</sup> в диапазоне мощности дозы (МД) 0,61–1,76 мкЗв/ч ПДПР для работающих на открытой территории составит от 1700 до 600 часов в год. За это время среднегодовая эффективная доза внешнего облучения работников не должна превышать 1 мЗв [19].

Расчет предельно допустимой продолжительности работы ( $T_d$ ) в зонах с мощностью дозы более 1,76 мкЗв/ч проводится по формуле

$$T_d = E / H - H_0, \quad (1)$$

где  $E$  – допустимый предел годовой эффективной дозы внешнего облучения работников, отнесенных к категории персонала, за счет радиоактивного загрязнения (1000 мкЗв/год);  $H$  – мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на рабочем месте, мкЗв/ч;  $H_0$  – мощность эквивалентной дозы от природных источников излучения в данной местности до аварии. При неизвестном значении мощности дозы оно принимается равным 0,095 мкЗв/ч.

Доза внешнего облучения формируется главным образом за счет воздействия гамма-излучающих радионуклидов, находящихся в объектах окружающей среды.

В отличие от внешнего облучения опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, обусловлена тем, что происходит их концентрация

в критических органах и тканях, их действие продолжается в течение всего промежутка времени, пока радионуклиды не будут выведены из организма в результате физиологических обменных процессов и естественного радиоактивного распада.

В лесах Беларуси произрастает около 200 видов грибов, из которых 35 хорошо известны и традиционно используются в питании населения, наряду с грибами собираются и лесные ягоды.

При хроническом потреблении загрязненных цезием-137 продуктов [20] расчет индивидуальной дозы внутреннего облучения  $H_{вн}$  осуществляется по формуле

$$H_{вн} = k \cdot \sum(m_i \cdot A_{mi}), \quad (2)$$

где  $k$  – пересчетный коэффициент, равный  $1,3 \cdot 10^{-5}$  мЗв/Бк;  $m_i$  – годовое потребление  $i$ -го продукта питания, кг;  $A_{mi}$  – удельная активность  $i$ -го продукта, Бк/кг.

Результаты расчетов возможных доз облучения при среднестатистическом потреблении населением 10 кг грибов в год, собранных на загрязненных территориях, представлены в табл. 2.

Таблица 2

#### Результаты оценки ожидаемых доз за счет потребления грибов

Поверхностное загрязнение цезием-137, Ки/км <sup>2</sup> (кБк/м <sup>2</sup> )	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)	0,75–2,00
>40 (>1480)	>2

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что доза внутреннего облучения населения за счет потребления грибов может составить 2 мЗв и более в год.

Нормирование содержания радионуклидов в древесном сырье и пищевой продукции леса дает эффект снижения доз облучения, не требует дополнительных затрат, но ограничитель-

ные мероприятия приводят к экономическим потерям за счет сокращения объемов использования лесных ресурсов [21].

*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.

*Социально-экономические мероприятия* включают охрану труда, производственную санитарную, улучшение качества жизни и медико-санитарное обслуживание работающих.

*Предупредительные защитные мероприятия* включают зонирование территорий вокруг АЭС и других радиационно-опасных объектов.

**Заключение.** Таким образом, при хроническом облучении человека небольшими дозами в течение длительного времени, в том числе и от радионуклидов, попавших внутрь организма, происходят обратимые и необратимые изменения в организме, растянутые во времени. Наносимые организму повреждения частично восстанавливаются. Доза в 0,5 Зв, приводящая при однократном облучении к болезненным ощущениям, при хроническом облучении, растянутом во времени на 10 и более лет, к видимым явлениям не приводит [22].

Комплекс защитных мероприятий по охране труда, соблюдение норм, принципов и критериев радиационной безопасности, контроль за гигиеническим состоянием производственной среды на практике способствует созданию благоприятных условий труда, увеличению долголетия, работоспособности и снижению риска повреждения здоровья работников леса Беларуси.

Использование радиоактивно загрязненной древесины экономически целесообразно при условии, если не происходит загрязнение объектов окружающей среды, обеспечивается получение конкурентной продукции, соответствующей требованиям потребителя и радиационной безопасности.

#### Литература

1. Гофман Дж. Чернобыльская авария: радиационные последствия для настоящего и будущих поколений / пер. с англ. Э. И. Волмянского. Минск: Выш. школа, 1994. 574 с.
2. Радиация. Дозы, эффекты, риск: пер. с англ. Москва: Мир, 1988. 79 с.
3. 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.
4. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС. Гомель: Ин-т радиологии, 2017. 48 с.
5. Радиационная безопасность после техногенных аварий / И. В. Ролевич [и др.]. Минск: Амалфея, 2013. 632 с.
6. Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения: ТКП 240-2010. Введ. 01.06.2010. Минск, 2010. 24 с.
7. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП 498-2013. Введ. 03.10.2013. Минск, 2013. 28 с.

8. Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП-499-2013. Введ. 03.10.2013. Минск, 2013. 28 с.
9. Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения: ТКП 251-2010. Введ. 28.06.2010. Минск, 2010. 24 с.
10. Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения: ТКП 239-2010. Введ. 22.02.2010. Минск, 2010. 20 с.
11. Радиационный контроль. Объекты лесного хозяйства, рабочие места. Порядок проведения: ТКП 250-2010. Введ. 28.06.2010. Минск, 2010. 27 с.
12. Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А., Босак В. Н. Обеспечение радиационной безопасности работающих при производстве продукции из древесины // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 233–235.
13. Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Дозиметрическое и радиометрическое обеспечение радиационной безопасности на ОАО «Ивацевичдрев» // Труды БГТУ. 2014. № 2 (166): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 135–139.
14. Правила пожарной безопасности в лесах Республики Беларусь: постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 70 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://www.pravo.by/upload/dcs/op/W21631562p1486155600.pdf> (дата обращения: 10.02.2019).
15. Радиоактивное загрязнение древесины Чернобыльской зоны / И. В. Турлай [и др.] // Лесной журнал. 2001. № 2. С. 25–29.
16. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001): ГН 2.6.1.10-1-01-2001. Минск, 2000. 5 с.
17. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): ГН 10-117-99. Минск, 1999. 2 с.
18. Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А., Босак В. Н. Радиационный контроль древесного топлива для энергетических установок (на примере ОАО «Ивацевичдрев») // Труды БГТУ. 2015. № 2 (175): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 202–205.
19. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиенический норматив. Введ. 01.01.2013. Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2012. 232 с.
20. Азовская Н. О., Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Исследование степени радиоактивного загрязнения пищевой продукции леса и ее вклад в дозовую нагрузку населения // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2 (210). С. 251–257.
21. Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Приоритетные задачи по обеспечению безопасности жизнедеятельности работников лесопромышленного комплекса // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2010. Вып. XVIII. С. 299–304.
22. Сивинцев Ю. В. Насколько опасно облучение? (Радиация и человек). 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ИздАТ, 1991. 112 с.

## References

1. Hoffman G. *Chernobyilskaya aviariya: radiatsionnye posledstviya dlya nastoyashego i buduschikh pokoleniy* [Chernobyl accident: radiation effects for present and future generations]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1994. 574 p.
2. Radiatsiya. *Dozyi, efektyi, risk* [Radiation. Dose, effects, risk]. Moscow, Mir publ., 1988. 79 p.
3. Ipatyev V. A., Baginsky V. F., Bulavik I. M. *Lesnyie ekosistemy posle avarii na Chernobyil'skoy AES: sostoyaniye, prognoz, reaktsiya naseleniya, puti rehabilitatsii* [Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: state, forecast, population reaction, ways of rehabilitation]. Gomel, Institut lesa Publ., 1999. 451 p.
4. *Pravila vedeniya lesnogo khozyaystva na territoriyakh, podvergnshikhsya radioaktivnomu zagryazneniyu v rezul'tate katastrofy na ChAES* [Rules of conducting forestry in the territories subjected to radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP disaster]. Gomel, Institut radiologii Publ., 2017. 48 p.
5. Rolevich I. V. *Radiatsionnaya bezopasnost' posle tehnogennyikh avariyy* [Radiation safety after man-made accidents]. Minsk, Amalfeya Publ., 2013. 632 p.
6. *TKP 240-2010. Radiatsionnyy kontrol'. Obsledovanie zemel' lesnogo fonda. Poryadok provedeniya* [TKP 240-2010. Radiation control. Survey of forest land. Order of conduct]. Minsk, 2010. 24 p.

7. *TKP 498-2013. Radiatsionnyiy monitoring lesnogo fonda. Zakladka postoyannogo punkta nablyudeniya. Poryadok provedeniya* [TKP 498-2013. Radiation monitoring of the forest fund. Bookmark a permanent observation point. Order docking]. Minsk, 2013. 28 p.

8. *TKP 499-2013. Radiatsionnyiy monitoring lesnogo fonda. Obsledovanie postoyannogo punkta nablyudeniya. Poryadok provedeniya* [TKP 499-2013. Radiation monitoring of the forest fund. Survey of a permanent observation point. Procedure]. Minsk, 2013. 28 p.

9. *TKP 251-2010. Radiatsionnyiy kontrol'. Otbor i podgotovka prob lesnoy produktsii. Poryadok provedeniya* [TKP 251-2010. Radiation control. Sampling and sample preparation of forest products. The order of carrying out]. Minsk, 2010. 24 p.

10. *TKP 239-2010. Radiatsionnyiy kontrol'. Obsledovanie lesosek. Poryadok provedeniya* [TKP 239-2010. Radiation control. Inspection of cutting areas. The order of carrying out]. Minsk, 2010. 20 p.

11. *TKP 250-2010. Radiatsionnyiy kontrol'. Ob'ekty lesnogo khozyaystva, rabochie mesta. Poryadok provedeniya* [TKP 250-2010. Radiation control. Forestry facilities, jobs. The order of the conduct]. Minsk, 2010. 27 p.

12. Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A., Bosak V. N. Ensuring the radiation safety of workers in the manufacture of wood products. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 233–235 (In Russian).

13. Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A. Dosimetric and radiometric assurance of radiation safety at Ivatsevichdrev OJSC. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 135–139 (In Russian).

14. *Pravila pozharnoy bezopasnosti v lesakh Respubliki Belarus: postanovlenie Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus, 19 dek. 2016 g., no. 70* [Fire safety regulations in the forests of the Republic of Belarus: Decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, December 19, 2016, no. 70]. Available at: <https://www.pravo.by/upload/dcs/op/W21631562p1486155600.pdf> (accessed: 10.02.2019).

15. Turlay I. V. Radioactive contamination of wood of the Chernobyl zone. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal], 2001, no. 2, pp. 25–29 (In Russian).

16. *GN 2.6.1.10-1-01-2001. Respublikanskije dopustimye urovni sodержaniya tseziya-137 v drevesine, produktsii iz drevesiny i drevesnykh materialov i prochey nepischevoy produktsii lesnogo khozyaystva (RDU/LH-2001)* [GN 2.6.1.10-1-01-2001. Republican permissible levels of cesium-137 in wood, wood products and wood materials and other non-food forestry products (RDU / LH-2001)]. Minsk, 2000. 5 p.

17. *GN 10-117-99. Respublikanskije dopustimye urovni sodержaniya radionuklidov tseziya-137 i strontsiya-90 v pischevykh produktakh i pit'evoy vode (RDU-99)* [GN 10-117-99. Republican permissible levels of cesium-137 and strontium-90 radionuclides in food and drinking water (RDU-99)]. Minsk, 2000. 2 p.

18. Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A., Bosak V. N. Radiation control of wood fuel for power plants (on the example of Ivatsevichdrev OJSC). *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 202–205 (In Russian).

19. *Kriterii otsenki radiatsionnogo vozdeystviya: gigenicheskiy normative* [Criteria for assessing radiation exposure: hygienic standard]. Minsk, Ministry of health of the Republic of Belarus Publ., 2012. 232 p.

20. Azovskaya N. O., Peretrukhin V. V., Chernushevich, G. A. Study of the degree of radioactive contamination of forest food products and its contribution to the population dose. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Issue 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 2 (210), pp. 251–257 (In Russian).

21. Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A. Priority tasks to ensure the safety of the life of workers in the timber industry complex. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 299–304 (In Russian).

22. Sivintsev Yu. V. *Naskolko opasno obluchenie? (Radiatsiya i chelovek)* [How dangerous is exposure? (Radiation and man)]. Moscow, Izdat Publ., 1991. 112 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, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Viktor@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 Natallia 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'evich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Viktor@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: gregory@rambler.ru

*Поступила 19.02.2019*

УДК 537.525.7:621.762

**С. С. Карпович<sup>1</sup>, Л. А. Рапинчук<sup>2</sup>, В. Б. Левитан<sup>3</sup>, А. С. Раковец<sup>4</sup>, С. И. Карпович<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>ГЛХУ «Новогрудский лесхоз»<sup>3</sup>ЧУП «Сталекс»<sup>4</sup>Белорусский государственный технологический университет**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
НОЖЕЙ РУБИЛЬНЫХ МАШИН**

Перспективным с целью удешевления технологии изготовления инструмента является применение биметаллических заготовок, получаемых с помощью технологии сварки взрывом. При этом необходимо соблюдать условие: обеспечение твердости не только передней поверхности инструмента, но и основы составного инструмента.

При работе дереворежущего инструмента в условиях ударных нагрузок наблюдаются случаи образования трещин не только в зоне резания, но и в корпусе, что приводит к его разрушению. Установление причин этого явления повысит работоспособность инструмента и безопасность его эксплуатации. Предложено работоспособность такого инструмента оценивать соотношением ударной вязкости к значению твердости. Это соотношение названо коэффициентом соответствия. Чем выше значение коэффициента соответствия, тем выше рабочий потенциал инструмента. По этому показателю и результатам производственных испытаний инструментальные стали можно разместить по мере убывания потенциальной работоспособности в следующей последовательности: 45X2H4MФ, X6BФ, X12MФ, 6XB2C, X12.

Анализ характера затупления лезвий показывает, что при твердости HRC меньше 50 износ протекает за счет его пластической деформации и отгиба кромки в направлении задней поверхности. При нанесении упрочняющих покрытий твердость основы должна быть не меньше этого значения, в противном случае на передней поверхности режущего клина будут создаваться растягивающие напряжения, что приведет к снижению эффективности упрочняющей технологии.

**Ключевые слова:** сварка взрывом, инструмент, сталь, затупление, износ, упрочнение.

**S. S. Karpovich<sup>1</sup>, L. A. Rapinchuk<sup>2</sup>, V. B. Levitan<sup>3</sup>, A. S. Rakovets<sup>4</sup>, S. I. Karpovich<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Belarusian National Technical University<sup>2</sup>SFE “Novogrudsky forestry”<sup>3</sup>PUE “Staleks”<sup>4</sup>Belarusian State Technological University**RESOURCE INCREASE AND EFFICIENCY  
OF THE USE OF KNIVES OF RUNNING MACHINES**

When wood-cutting tools are used for impact loads observed cases of cracking not only in the area of the blade, but in the hull, which leads to its destruction. Determining the reasons of this phenomenon increase the efficiency of the tool safety of operation. The working capacity of this tool proposed to evaluate ratio of impact strength to hardness. This ratio is called the coefficient of conformity. By coefficient of conformity carried assessment of the prospects of applications of steel grades Kh12MF, 6KhV2S, Kh6VF, Kh12 for manufacture of wood-cutting tools.

The coefficients of conformity  $K_c$  for these steel grades are in the range 0,39–1,48, that is, the difference of the utmost values differ by almost four times.

Analysis of the character of speeches of blades shows that the hardness HRC is less than 50 wear passes due to plastic deformation of the blade, of edge bending in the direction of the back surface. When applying hard coatings hardness should not be less then this value, otherwise hardening the front surface of the cutting wedge will create tensile stresses, which leads to a decrease in the efficiency of hardening technology.

**Key words:** explosion welding, tool, steel, dulling, wear, hardening.

**Введение.** Биоэнергетика основана на применении возобновляемых источников сырья. Для Беларуси таким сырьем являются отходы лесозаготовок и лесопиления. Первичная подготовка

отходов заключается в получении древесной щепы на передвижных и стационарных рубильных машинах. Инструментом в этом случае являются комплекты сменных ножей, изготовленные



из инструментальных сталей. Эффективность технологии получения щепы и ее себестоимость в первую очередь определяются износостойкостью и стоимостью такого инструмента. Работы по снижению стоимости и повышению стойкости рубильных ножей представляют как научный, так и практический интерес.

**Основная часть.** Износостойкость режущего инструмента определяет его технологическую и практическую ценность. Служебные характеристики инструмента в первую очередь определяются инструментальным материалом [1–6], из которого изготовлен инструмент. От инструментального материала требуется комплекс свойств – это высокая твердость, высокие механические показатели, такие как прочность на изгиб и ударная вязкость. Из физических показателей особое значение имеет теплостойкость инструментального материала. При проектировании дереворежущего инструмента стоит учитывать особенности геометрии, меньшие углы заточки, значительную анизотропию свойств обрабатываемого материала, направление волокон, низкую теплопроводность. Проектирование дереворежущего инструмента должно производиться с учетом этих особенностей.

На первоначальном этапе выбора инструментальной стали для изготовления дереворежущего инструмента предложено пользоваться коэффициентом соответствия. Коэффициент представляет собой отношение ударной вязкости стали к значению твердости:  $K_c = KCU / HRC$  [6]. Чем выше значение коэффициента соответствия, тем выше рабочий потенциал инструмента. По этому показателю и результатам производственных испытаний инструментальные стали можно разместить по мере убывания потенциальной работоспособности в следующей последовательности: 45X2H4MФ, X6BФ, X12MФ, 6XB2C, X12 [7].

Стоимость инструмента в первую очередь определяется стоимостью инструментального материала и сложностью технологии изготовления. Инструментальные материалы имеют высокую стоимость. С целью экономии инструментального материала режущий инструмент изготавливают составным. Корпус инструмента делают из более дешевой конструкционной стали, а рабочую часть – из инструментального материала. Режущие элементы крепят на корпусе механическим путем, с помощью пайки, сварки [8–11]. Наибольшую эффективность следует ожидать при применении этой технологии для изготовления крупногабаритного режущего инструмента, такого как ножи рубильных машин (особенно стационарного типа), имеющих

большие размеры. При изготовлении опытных ножей для рубильных машин Jens Hem 561 использованы заготовки из биметаллических материалов.

На стальную основу из стали 35 размером 7×60×110 мм приварен лист из инструментальной стали 9ХФ толщиной 1,5 мм с применением сварки взрывом (достаточно отработанной технологии для применения в практических целях).

Поверхность заготовки из стали 35 перед сваркой защищалась абразивным кругом. После сварки из заготовки вырезались образцы и изготавливались микрошлифы. На рис. 1 показан микрошлиф сварного соединения при 100- и 500-кратном увеличении до и после термической обработки.

На микрошлифах четко видна граница соединения без видимых дефектов. В пришовных зонах как углеродистой, так и легированной стали металл имеет более мелкозернистое строение. Зерна вытянуты вдоль шва, в направлении течения металла, по мере удаления от зоны шва размер зерен увеличивается и зерна приобретают округлое сечение. По строению шва можно сделать вывод, что максимальная степень деформации металла наблюдается в зоне шва.

Термообработка состояла из нагрева образца в муфельной печи до температуры 850°C с последующим охлаждением в масле. Твердость основы из стали 35 составила HRC = 1–2, твердость приваренной пластины из стали 9ХФ составила HRC = 54–56. После травления реактивом (4% азотной кислоты в спирте) непосредственно зона шва обретает темный оттенок, что можно объяснить более низкой химической стойкостью металла в контактной зоне. По мере удаления от шва зернистость возрастает как для углеродистой стали, так и для легированной. Зерна ферритноперлитной смеси после закалки приобретают равноосное строение.

Комплект рубильных ножей, изготовленных по этой технологии, был поставлен на производственные испытания.

Особенности характера затупления рубильных ножей, изготавливаемых из биметаллических заготовок, по результатам проведенных испытаний приведены на рис. 2.

На рис. 2, а показана геометрия ножей до установки на рубильную машину. Зазор между лезвиями практически отсутствует. На рис. 2, б показан вид износа после переработки 40 м<sup>3</sup> древесины. Величина зазора между лезвиями измерялись с помощью щупа. По длине лезвия размеры зазора разные и лежат в пределах 0,15–1,25 мм. Зазор образовался за счет пластической деформации режущего клина.

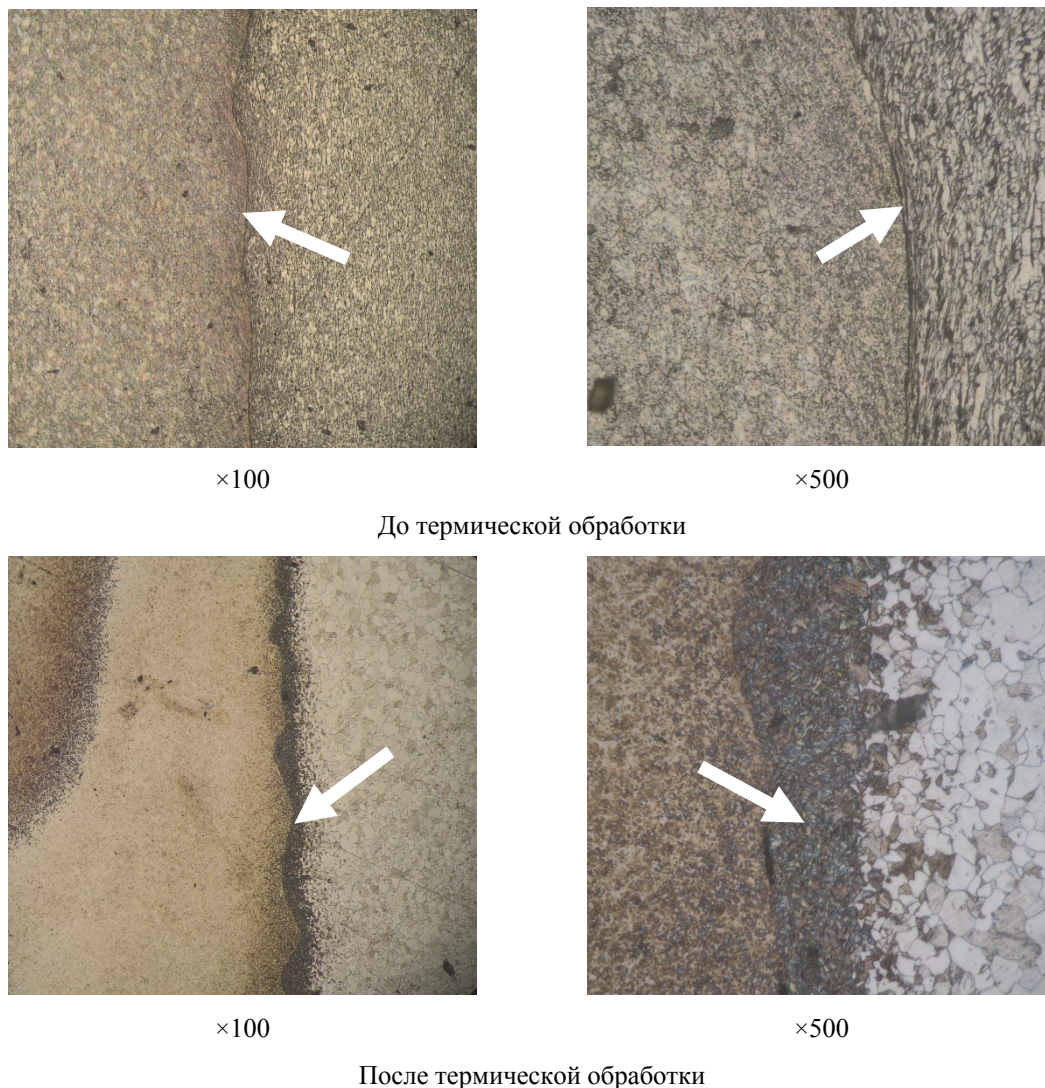


Рис. 1. Микроструктура сварного соединения

Изгиб передней поверхности режущего клина в направлении задней поверхности показан на рис. 2, в, похожие явления пластической

деформации режущей кромки приведены в работах [12–13]. На рис. 2, г приведен вид разрушения лезвия ножа со стороны передней поверхности.

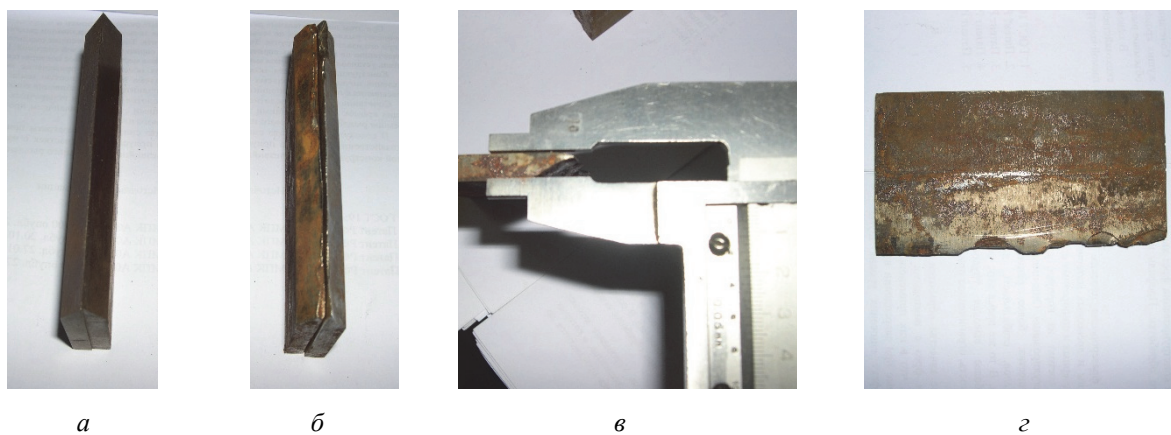


Рис. 2. Вид разрушения рубильных ножей из биметаллических заготовок (сталь 35 и 9ХФ):  
 а – геометрия ножей до установки на рубильную машину; б – вид износа после переработки 40 м<sup>3</sup> древесины;  
 в – изгиб передней поверхности режущего клина в направлении задней поверхности;  
 г – вид разрушения лезвия ножа со стороны передней поверхности

Видны макросколы приваренной пластины толщиной 1,5 мм из стали 9ХФ. На всех лезвиях ножей комплекта из 10 единиц видно, что механическому разрушению лезвия предшествовала пластическая деформация режущего клина. В этом случае подтверждается ранее сделанное заключение [14], что твердость стальной основы инструмента с упрочненной передней поверхностью с применением химико-термической обработки, нанесением упрочняющих покрытий (в нашем случае с применением биметаллических заготовок) должна сохраняться на уровне  $HRC \approx 50$ . Следовательно, режимы упрочняющих технологий должны назначаться с условием сохранения твердости основы на этом уровне. Только с учетом всех особенностей процесса резания можно добиться проектирования эффективного режущего инструмента [15–16].

Следует учитывать влияние на износостойкость инструмента величины и знака остаточных напряжений на инструменте. Остаточные напряжения образуются в процессе изготовления инструмента (первичные) и в процессе эксплуатации под воздействием усилия резания (вторичные). Установлено, что напряжение сжатия повышает износостойкость контактной поверхности, а растяжения – снижает ее [17].

При пластической деформации режущей кромки происходит образование растягивающих напряжений. По этой причине пластическая деформация режущей кромки тоже не желательна.

Наличие на передней поверхности инструмента с упрочненным покрытием твердого слоя приводит под действием растягивающих напряжений к образованию микротрещин с последующим скалыванием и удалением упрочненного слоя. Знак и величина остаточных напряжений для инструмента с упрочняющим покрытием приобретает особую актуальность с учетом свойств как инструментального материала, так и обрабатываемого.

По значению коэффициента соответствия для изготовления дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, перспективной является сталь 45Х2Н4МФ. Из этой стали изготовлен комплект опытных ножей для рубильных машин Jens Hem 561.

Термообработка проведена по режиму: нагрев до  $850^{\circ}\text{C}$ , выдержка и последующее охлаждение в масле. После закалки проведен отпуск при  $180^{\circ}\text{C}$ . Твердость ножей составила  $HRC = 52–54$ .

Производственные испытания проводились в Новогрудском лесхозе в осенний период 2018 г. Вид ножей после испытаний приведен на рис. 3.

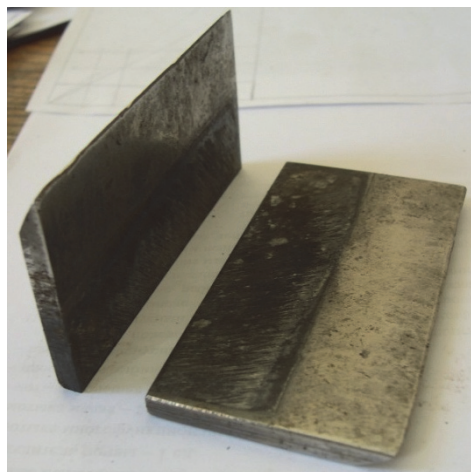


Рис. 3. Характер износа рубильных ножей из стали 45Х2Н4МФ

Наблюдается равномерный износ по всей длине лезвия. Выкрашивания, сколы отсутствуют на всех образцах. Объем переработанного сырья составил  $3000 \text{ м}^3$  плотной древесины. Обычно стойкость рубильных ножей составляет  $500–600 \text{ м}^3$  с последующим снятием на переточку. Такое различие объясняется не только свойствами инструментального материала, но и методикой эксплуатации. В процессе эксплуатации производилась периодическая подточка ножей по технологии, принятой в лесхозе. Правка осуществлялась пневмоболгаркой без снятия ножей с рубильного агрегата лепестковым абразивным кругом. После этой операции эксплуатация ножей продолжалась. Правка ножей проводилась периодически, в зависимости от вида перерабатываемого сырья.

После переточки суммарный объем переработанной древесины одним комплектом инструмента составил  $6000 \text{ м}^3$  плотной древесины. При такой технологии эксплуатации ножей рубильных машин для заготовки щепы достигается существенная экономия топлива.

**Выводы.** При изготовлении дереворежущего инструмента с упрочненной передней поверхностью твердость основы должна сохраняться на уровне  $HRC \approx 50$ .

С учетом этого параметра необходимо разрабатывать режимы формирования упрочняющих покрытий.

Перспективным с целью удешевления технологии изготовления инструмента является применение биметаллических заготовок, получаемых с помощью технологии сварки взрывом. При этом необходимо соблюдать условие: обеспечение твердости не только передней поверхности инструмента, но и основы составного инструмента.

Лучшими эксплуатационными показателями из рассмотренных марок инструментальных

сталей обладает дереворежущий инструмент, изготовленный из стали 45X2H4MФ.

При эксплуатации рубильных ножей рекомендуется производить периодическую подточку ножей переносными заточными приспособлениями без снятия инструмента с рубильных агрегатов машин, это обеспечивает увеличение ресурса инструмента, существенную экономию топлива и увеличивает ресурс рубильной машины в целом.

собраниями без снятия инструмента с рубильных агрегатов машин, это обеспечивает увеличение ресурса инструмента, существенную экономию топлива и увеличивает ресурс рубильной машины в целом.

### Литература

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1978. 508 с.
2. Новиков И. И. Материаловедение: в 2 т. М.: Металлургия, 2009. Т. 1. 287 с.
3. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 647 с.
4. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка. М.: Металлургия, 1984. 359 с.
5. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. М.: Высш. шк., 1971. 344 с.
6. Методика выбора марок инструментальных сталей для изготовления дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок / С. И. Карпович [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 342–347.
7. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989. С. 339.
8. Режущий инструмент: пат. Респ. Беларусь, МПК С 23 С 28/00 / С. Д. Латушкина, Д. С. Карпович, О. И. Гапанович, А. Г. Жижченко, А. В. Емельянов, В. А. Емельянов, С. Ф. Сенько; заявитель Физико-технический ин-т НАН Беларуси, № u 20121066; заявл. 29.11.12; опубл. 30.06.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. С. 3.
9. Шагун В. И. Режущий инструмент. Проектирование. Производство. Эксплуатация. Минск: Пион, 2002. 496 с.
10. Металлорежущие инструменты / Г. Н. Сахаров [и др.]. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
11. Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Жигало Н. И. Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск: Выш. шк., 1981. 560 с.
12. Моисеев А. В. Явления, сопровождающие износ дереворежущего инструмента // Совершенствование конструкции дереворежущих инструментов, методов их подготовки и эксплуатации. 1973. Вып. 7. С. 103–112.
13. Моисеев А. В. Комплексные исследования явлений, вызывающих износ дереворежущего инструмента // Механическая технология древесины. 1974. Вып. 4. С. 126–136.
14. Карпович С. С., Пискунова О. Ю., Карпович С. И. Рациональные схемы заточки лезвийного инструмента с упрочняющим покрытием // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 311–314.
15. Шагун В. И. Режущий инструмент. Основы теории проектирования. Минск: Дизайн ПРО, 1998. 112 с.
16. Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. 448 с.
17. Остаточные напряжения / Ж. А. Мрочек [и др.]. Минск: Технопринт, 2003. 352 с.

### References

1. Geller Yu. A. *Instrumentalnyie stali* [Instrumental steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 508 p.
2. Novikov I. I. *Materialovedenie* [Materials science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2009. Vol. 1, 287 p.
3. Gulyaev A. P. *Metallovedenie* [Metallography]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 647 p.
4. Lakhtin Yu. M. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka* [Metallurgy and heat treatment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 359 p.
5. Grube A. E. *Derevorezhushchie instrumenty* [Wood-cutting tools]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 344 p.
6. Karpovich S. I., Grishkevich A. A., Karpovich S. S., Piskunova O. Yu. Methods of selecting tool steels for the manufacture of wood-cutting tools, working in conditions of shock loads. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Issue 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2017, no. 2 (198), pp. 342–347 (In Russian).
7. *Marochnik staley i splavov* [Database of steels and alloys]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1989, p. 339.
8. Latushkina S. D., Karpovich D. S., Gapanovich O. I., Zhizhchenko A. G., Emelyanov A. V., Emelyanov V. A., Senko S. F. *Rezhushchiy instrument* [Cutting tool]. Patent BY, no. 20121066, 2013.

9. Shagun V. I. *Rezhuschiy instrument. Proektirovanie. Proizvodstvo. Eksploatatsiya* [Cutting tool. Design. Production. Exploitation]. Minsk, Pion Publ., 2002. 496 p.
10. Sakharov G. N., Arbuzov O. B., Borovoy Yu. L. et al. *Metallorazhuschie instrumenty* [Metal-cutting tools]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1989. 328 p.
11. Yashcheritsin P. I., Eremenko M. L., Zhigalo N. I. *Osnovy rezaniya materialov i rezhuschiy instrument* [Fundamentals of cutting materials and cutting tools]. Minsk, Vysheysheyshaya shkola Publ., 1981. 560 p.
12. Moiseev A. V. Phenomena accompanying the wear of wood-cutting tools. *Sovershenstvovanie konstruksii derevorezhuschiikh instrumentov, metodov ikh podgotovki i eksploatatsii* [Improving the design of woodworking tools, methods of their preparation and operation], 1973, no. 7, pp. 103–112 (In Russian).
13. Moiseev A. V. Complex investigations of phenomena causing wear of wood-cutting tools. *Mehanicheskaya tehnologiya drevesiny* [Mechanical wood technology], 1974, no. 4, pp. 126–136 (In Russian).
14. Karpovich S. S., Piskunova O. Yu., Karpovich S. I. Rational schemes for sharpening a blade tool with hardening coating. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 311–314 (In Russian).
15. Shagun V. I. *Rezhuschiy instrument. Osnovy teorii proektirovaniya* [Cutting tool. Fundamentals of the theory of design]. Minsk, Dizayn PRO Publ., 1998. 112 p.
16. Vasin S. A., Vereshchaka A. S., Kushner V. S. *Rezanie materialov: termomekhanicheskiy podhod k sisteme vzaimosvyazey pri rezanii* [Cutting materials: a thermomechanical approach to the system of interconnections during cutting]. Moscow, Izd-vo MGTU im. Baumana Publ., 2001. 448 p.
17. Mrochek J. A., Makarevich S. S., Kozhuro L. M., Pashkevich M. F., Il'yushchenko A. F. *Ostatnochnyye napryazheniya* [Residual stress]. Minsk, Tehnoprint Publ., 2003. 352 p.

#### Информация об авторах

**Карпович Сергей Семенович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Новые материалы и технологии». Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ (220107, г. Минск, пр-т Партизанский, 77, Республика Беларусь).

**Рапинчук Леонид Антонович** – главный механик. ГЛХУ «Новогрудский лесхоз» (231400, г. Новогрудок, ул. Мицкевича, 45, Республика Беларусь).

**Левитан Владислав Борисович** – инженер-металлург. ЧУП «Сталекс» (220021, г. Минск, пер. Бехтерева, 10, Республика Беларусь). E-mail: vladmet@tut.by

**Раковец Антон Сергеевич** – аспирант кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonrakovez@mail.ru

**Карпович Семен Иванович** – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mitm@belstu.by

#### Information about the authors

**Karpovich Sergey Semenovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department “New Materials and Technologies”. Belarusian National Technical University (77, Partizanskiy Ave., 220107, Minsk, Republic of Belarus).

**Rapinchuk Leonid Antonovich** – Chief Mechanic. SFE “Novogrudsky Forestry” (45, Mitskevicha str., 231400, Novogrudok, Republic of Belarus).

**Levitan Vladislav Borisovich** – metallurgical engineer. PUE “Staleks” (10, Bekhtereva lane, 220021, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: vladmet@tut.by

**Rakovets Anton Sergeevich** – PhD student, the Department of Materials Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonrakovez@mail.ru

**Karpovich Semen Ivanovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, the Department of Materials Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: KarpovichSI@belstu.by

Поступила 10.03.2019

UDC 674.023

I. P. Volchok<sup>1</sup>, S. E. Belsky<sup>2</sup>, A. V. Blakhin<sup>2</sup>, F. F. Tsaruk<sup>2</sup>,  
Adel Abdel Basset Rashid<sup>3</sup>, Mourtada Srour<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Zaporizhia National Technical University

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University

<sup>3</sup>Beirut Arab University

<sup>4</sup>Lebanese University

## IMPROVEMENT OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SECONDARY ALUMINUM ALLOYS WITH LASER TREATMENT

This work substantiates the feasibility of laser treatment of secondary cast aluminum alloys. The authors performed examination of the influence of iron content and laser treatment on a number of mechanical characteristics of the alloy close to the AK9M2 alloy in terms of chemical composition. Special attention was paid to the fatigue characteristics. It was determined that the fatigue characteristics were generally reduced after performance of laser treatment. An increase in the concentration of iron in the alloy also lead to reduction of the fatigue characteristics of the tested materials.

The authors demonstrated that performance of laser treatment with subsequent surface polishing and aging contributes to improvement of fatigue characteristics.

**Key words:** aluminum alloys, impurities, hardening, laser treatment, fatigue characteristics.

**Introduction.** Cast aluminum alloys are currently used in various industry fields (aviation, shipbuilding, road and rail transport, process equipment). Aluminum alloys have high levels of specific strength, plasticity and corrosion resistance. The main disadvantages of such materials are low hardness and strength.

Due to high energy intensity required for production of primary aluminum alloys and presence of large amounts of scraps and production waste, replacement of primary alloys with secondary ones is highly relevant. However, due to high volume of impurities, their mechanical properties are significantly inferior to the properties of primary alloys. The most commonly found impurity is iron, which forms intermetallic phases during the crystallization process. Such phases serve as stress concentrators and significantly reduce the complex of mechanical properties of aluminum alloys, especially their fatigue characteristics [1–8].

One of the methods to improve mechanical properties of aluminum alloys is laser treatment of product surfaces. Such treatment significantly increases hardness and wear resistance of the surface [9, 10]. Studies have demonstrated that this method of surface strengthening is feasible for secondary aluminum alloys, since the presence of a significant number of intermetallic phases eliminates the need for surface doping [11]. However, fatigue characteristics are significantly reduced after such treatment [12]. Therefore, this work aims to study the possibilities to improve mechanical properties of secondary alloy using laser treatment.

**Main part.** The study was performed on three fractions of the AK9M2 alloy with nearly permanent chemical composition in terms of the main elements: 9.73–9.84% Si, 2.27–2.4% Cu, 0.054–0.060% Mn, 0.67–0.093% Mg, but with variable

iron content: 0.51, 1.03 and 1.525%. During transfer from the resistance furnace into the ladle, the alloy was treated with the modifier [10]; alloy blanks were thermally treated according to the T6 mode: hardening at  $(500 \pm 10)^\circ$  during 5 hours, aging at  $(180 \pm 10)^\circ$  during 7 hours. Laser treatment was performed on the pulse laser “Kvant-12” (surface fusion mode,  $\tau = 4$  ms,  $\lambda = 0,6943$   $\mu$ m, track overlapping – 30%). Fusion of 2 mm thick flat blanks was performed on two sides. The average thickness of fused layer amounted to about 200  $\mu$ m.

Fatigue tests were performed with the help of flat beam specimen with section of  $6 \times h$  mm made of the secondary aluminum alloy AK9M2 with various iron contents and surface conditions (fig. 1).

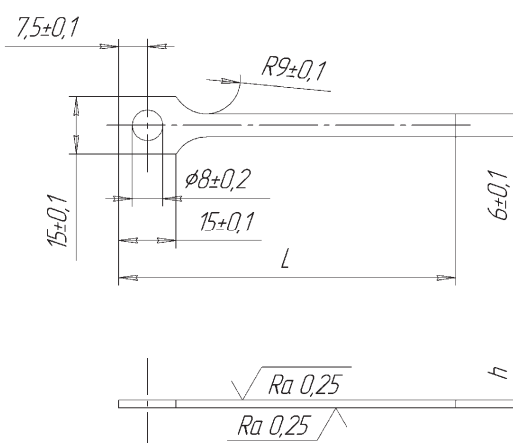


Fig. 1. Specimens for loading with alternating bend

Specimen thickness  $h$  was accepted as  $(1.95 \pm 0.06)$  mm. Test specimens were loaded with alternating bend on a specially designed unit [13, 14], which operated with resonance frequency of 18.2 kHz (fig. 2).

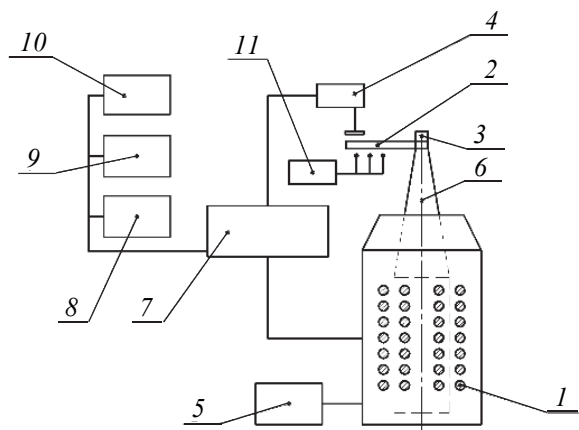


Fig. 2. Diagram of the test bench for excitation of bending oscillations at resonance frequency (18.2 kHz):  
 1 – magnetostrictive transducer with excitation and bias coils; 2 – specimen; 3 – mounting device;  
 4 – MRTI vibration meter; 5 – bias module;  
 6 – waveguide concentrator; 7 – PSA amplitude stabilization device; 8 – frequency meter;  
 9 – oscilloscope; 10 – computer with printing device;  
 11 – temperature controller

The specimen oscillated in the second self-oscillation modes. Selected ranges and shapes of oscillations ensured fatigue destructions in points of maximum cyclic stresses closer to the middle part of the straight-line section, which would ensure convenient study of changes in the material properties and development of a fatigue crack [15, 16]. Kinetics of the sample damage during loading was evaluated indirectly based on the decrease in the resonance oscillation frequency with development of the fatigue crack. Upon reaching a certain value, reduction in the testing frequency stopped.

Results of tests on the Duramin-5 device (load: 25 g) demonstrated a significant increase in the microhardness  $H_{\mu}$  and temporary resistance  $\sigma_{\mu}$  (the device determines this parameter automatically during hardness tests) as a result of laser fusion of specimen surfaces (table). One could have expected a corresponding increase in the fatigue strength as well. However, there was no increase due to high roughness of the fused surface, as well as residual tense stresses in surface layers of the specimen. Thus, the alloy AK9M2 after laser treatment was inferior to the original treatment in terms of resistance to fatigue destruction.

#### Strength and microhardness limits of the hardened layer of specimen

Parameter	Fe content, %		
	0.51	1.03	1.52
$H_{\mu}$ , MPa	1525	1598	1620
$\sigma_{\mu}$ , MPa	423	455	478

After mechanical treatment of fused surfaces of specimens on grinding machines to the roughness level of  $Ra \sim 0.32 \mu\text{m}$ , the resistance of the alloy to destruction under the effect of cyclic loads increased significantly (fig. 4, curves 3).

Further improvement of the alloy fatigue was achieved due to artificial aging at  $180^{\circ}\text{C}$  during 10 hours. After complex treatment (laser, grinding and aging), cyclic durability indicators exceeded the indicators obtained after standard thermal treatment according to the T6 mode (fig. 3).

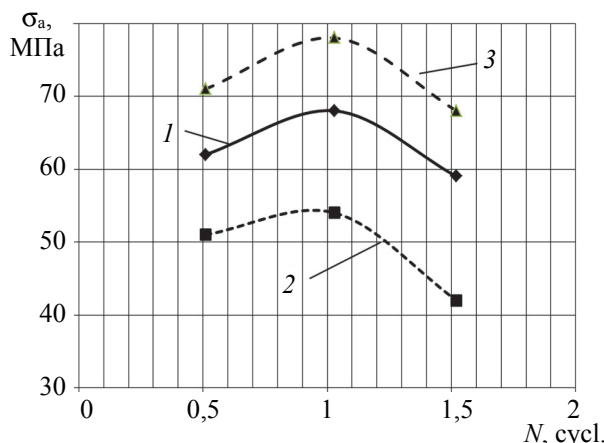


Fig. 3. Thresholds of limited resistance of the AK9M2 alloy specimens depending on the Fe content:  
 1 – original condition; 2 – after laser treatment;  
 3 – after laser treatment, polishing and aging

In general, testing results demonstrated the following: laser treatment led to improvement of the main characteristics of construction materials – microhardness (from 975–1000 to 1525–1620 MPa) and temporary resistance to destruction (from 70–160 to 423–478 MPa), which helps expand the field of application of aluminum alloys.

After laser treatment, the harmful inclusion in the basic mass of aluminum alloys, iron, turned out to be useful on condition of its content approximately under 1% (table, fig. 4). In our case, an increase in the iron content from 0.51 to 1.03% caused an increase in the fatigue limit from 68 to 77 MPa at test bases of  $10^7$ ; at the same time, the increment of the fatigue limit amounted to about 30%. The results obtained can serve as a basis for using low-grade raw materials mix contaminated with iron for production of aluminum alloys.

**Conclusions.** Laser treatment is a promising process of surface hardening specifically for secondary aluminum alloys containing significant amounts of iron. The study revealed a significant increase in the surface hardness and strength of the examined specimens of the AK9M2 alloys, which makes it possible to use this alloy for production of parts for machines operating in heavy duty conditions.

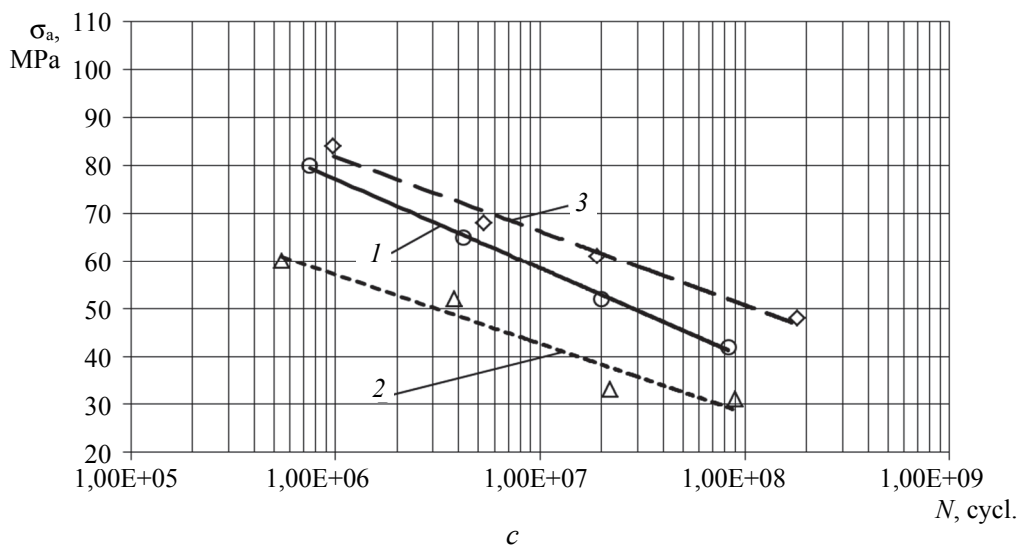
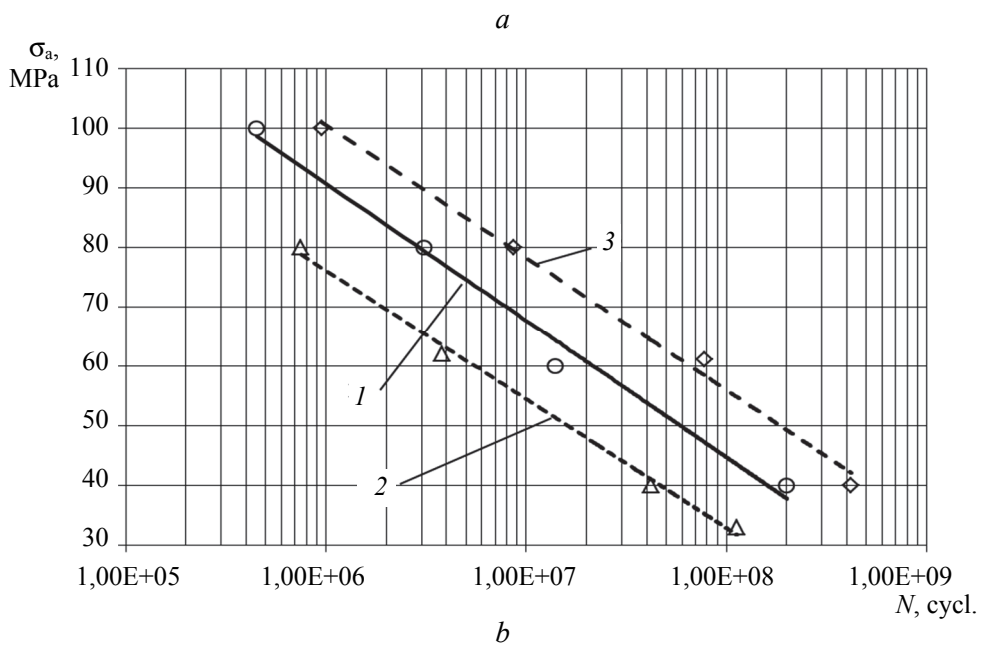
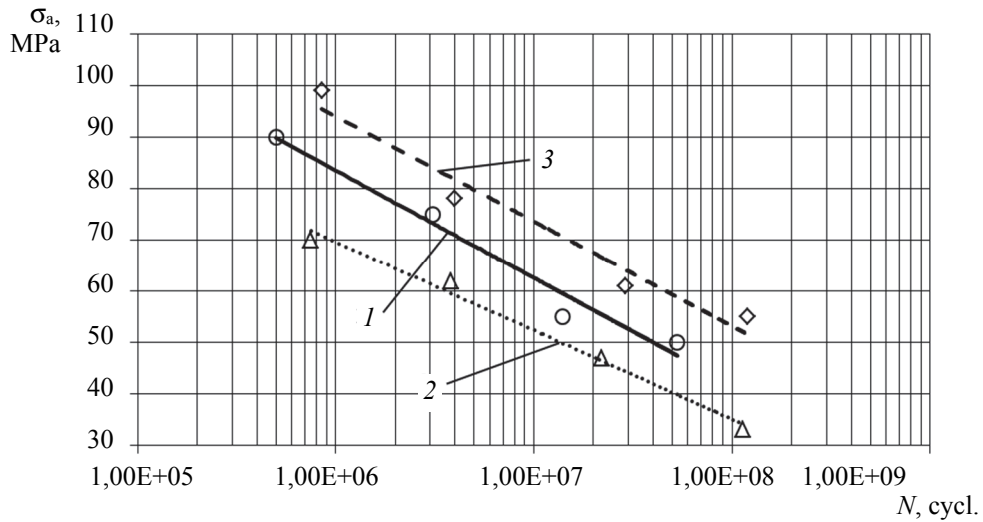


Fig. 4. Fatigue curves of 50% probability of destruction of the AK9M2 alloy specimens:  
*a* – 0.51% Fe; *b* – 1.03% Fe; *c* – 1.52% Fe; 1 – original condition;  
 2 – after laser treatment; 3 – after laser treatment, polishing and aging



However, laser treatment significantly reduces characteristics of cyclic strength of the examined material according to the data given in table [7], which were obtained for another aluminum alloy. Additional finishing treatment, which consists in aging and mechanical polishing, increases fatigue

characteristics by 10–15% as compared to the original material. It has been determined that the optimal content of iron in the alloy for improvement of mechanical properties is 1.0%, which is due to transformation of iron-containing phases during laser treatment.

### References

1. Bajkin A. I., Lebedev K. P., Stepanov Yu. M., Shemetev G. F. *Liteynyie siluminy s povyshennym sodержaniyem zheleza* [Cast silumin with the elevated content of iron]. Leningrad, Znanie Publ., 1983. 28 p.
2. Blakhin A. V., Belsky S. E., Tsaruk F. F. Study of the fatigue characteristics of the secondary aluminum foundry alloys. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 278–282 (In Russian).
3. Blakhin A. V., Tsaruk F. F., Belsky S. E. The influence of composition and smelting process on the fatigue properties of recycled cast aluminium alloys. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 310–313 (In Russian).
4. Blakhin A. V. Increase of fatigue characteristics of cast aluminum alloys obtained using secondary raw materials by thermocyclic treatment. *Lit'ye i metallurgiya* [Casting and metallurgy], 2009, no. 4, pp. 72–75 (In Russian).
5. Belsky S. E., Blokhin A. V. Effect of heat treatment on the increase of fatigue characteristics of secondary aluminum alloys. *Problemi i zadachi osviti i nauki. Zbirnik naukovikh prats ZNTU* [Problems and tasks of education and science. Proceeding of ZSTU], 2009, issue I, pp. 36–39 (In Russian).
6. Blakhin A. V. The use of thermocyclic treatment to improve the fatigue characteristics of the machine parts of the timber industry, made of cast aluminum alloys obtained using recycled materials. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], Series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 332–336 (In Russian).
7. Blakhin A. V., Los' A. M., Tsaruk F. F. Expanding the scope of application of secondary casting aluminum alloys for the manufacture of mobile machine parts. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 230–231 (In Russian).
8. Blakhin A. V. Influence of technological factors on the fatigue characteristics of cast aluminum alloys obtained using recycled materials. *Progressivnyye tekhnologii i protsessy: sbornik nauchnykh statey 2-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kursk, 24–25 sentyabrya 2015 g.* [Progressive technologies and processes, collection of scientific articles of the second international youth scientific-practical conference, Kursk, September 24–25, 2015.]. Kursk, 2015, pp. 146–149 (In Russian).
9. Volchok I. P., Shirokobokova N. V. Effect of laser treatment on the structure and microhardness of secondary casting aluminum alloys. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye: sbornik nauchnykh trudov* [Construction, materials science, engineering: collection of scientific papers], issue 10, 2012, pp. 15–20 (In Russian).
10. Volchok I. P., Mityaev O. A., Lyutovpa O. V., Shirokobokova N. V., Povzlo V. M. *Modifikator dlya aluminievikh splaviv* [Modifier for aluminum alloys]. Patent Ukraine, no. 32929, 2006.
11. Shirokobokova N. V., Volchok I. P. Surface hardening of secondary silumins. *Trudy konferentsii "Problemy terta ta znoshuvannya"* [Proceedings of the conference "Problems of friction and wear"]. Kiev, 2008, pp. 50–52 (In Russian).
12. Tsaruk F. F., Belsky S. E. Effect of iron content and laser treatment on high-frequency fatigue properties of the alloy AK8M3. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVIII, pp. 210–213 (In Russian).
13. Blakhin A. V., Tsaruk F. F., Gajduk N. A. Complex of equipment for fatigue testing of process equipment elements. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2002, issue X, pp. 213–215 (In Russian).
14. Belsky S. E., Blakhin A. V., Tsaruk F. F., Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srour. Equipment complex for ensuring the research of the characteristics of multi-cycle fatigue using high loading frequencies. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of renewable resources, 2019, no. 1 (216), pp. 201–206 (In English).
15. Belsky S. E., Tsaruk F. F., Blakhin A. V. Threshold voltage is an important characteristic of the fatigue resistance of structural materials. *Sovremennyye metody proyektirovaniya mashin. Raschet,*

*konstruirovaniye i tekhnologiya izgotovleniya: sb. tr. 1-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Modern methods of machine design. Calculation, design and manufacturing technology: proceedings of the first international scientific and technical conference], Minsk, 2002, vol. 2, pp. 380–382 (In Russian).

16. Blakhin A. V., Belsky S. E. Electrical resistance as a structural-sensitive characteristic in fatigue tests of metal structural materials. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2006, issue XIV, pp. 248–250 (In Russian).

#### Information about the authors

**Volchok Ivan Petrovich** – DSc (Engineering), Professor, the Department of Composite Materials, Chemistry and Technology. Zaporizhia National Technical University (64, Zhukovsky str., 69063, Zaporizhia, Ukraine).

**Belsky Sergey Eppgrafovich** – 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: dmipstu@belstu.by.

**Blakhin 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.

**Tsaruk Fedor Fedorovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Tsaruk@belstu.by.

**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 10.03.2019*

УДК 536.24:66.045

**А. Б. Сухоцкий, Е. С. Данильчик, Т. Б. Карлович, В. Н. Фарафонов**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРУГЛОРЕБРИСТОЙ ТРУБЫ НА СВОБОДНОКОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН**

Проведено экспериментальное исследование интенсивности теплового потока и распределение температур на оребренной чистой и загрязненной поверхности биметаллической трубы со спиральными алюминиевыми ребрами (БРТ) при свободной конвекции воздуха. Подобные БРТ применяются в воздухоохлаждаемых теплообменниках для технологических систем охлаждения жидкостей и конденсации паров, а также в электрических и водяных калориферах для нагрева вентиляционного воздуха в системах воздушного отопления и при утилизации тепла низко- и среднетемпературных вторичных энергетических ресурсов.

Диаметр несущей стальной трубы – 25 мм, толщина стенки – 2 мм. Геометрические параметры алюминиевого оребрения: наружный диаметр ребра – 56 мм; диаметр по основанию ребра – 26,8 мм; высота ребра – 14,6 мм; шаг ребра – 2,5 мм; средняя толщина ребра – 0,5 мм; коэффициент оребрения трубы – 19,26.

Исследования проводились методом полного теплового моделирования на специально разработанном экспериментальном стенде, а кольцевое равномерное загрязнение оребренной трубы создавалось путем плотной намотки между ребрами льняного шнура.

Обнаружено, что при естественной конвекции в трубах с тесным расположением ребер загрязнение межреберного пространства у основания оребрения не приводит к существенному снижению тепловой мощности (менее 10%), а ухудшение теплоотдающих свойств трубы происходит только при загрязнении верхушек оребрения (на 20,5%). Температура по высоте боковой поверхности ребра уменьшается незначительно (менее 2%), а на верхушке ребра по отношению к основанию – на 6–9%.

Следовательно, при эксплуатации оребренных теплообменников в условиях естественной конвекции (например, конвекторов систем отопления) не обязательна их частая и тщательная очистка от загрязнения.

**Ключевые слова:** биметаллическая труба, конвектор, загрязнение, тепловая мощность при естественной конвекции воздуха.

**A. B. Sukhotski, E. S. Danil'chik, T. B. Karlovich, V. N. Farafontov**  
Belarusian State Technological University

### **INFLUENCE OF EXTERNAL CONTAMINATION BIMETALLIC ROUND-BRIDGE TUBE FOR FREE-CONVECTIVE HEAT EXCHANGE**

An experimental study of the intensity of the heat flux and temperature distribution on the finned and contaminated surface of a bimetal tube with spiral aluminum fins (BRT) with free air convection has been carried out. Similar BRT are used in air-cooled heat exchangers for technological systems for cooling liquids and vapor condensation, as well as in electric and water heaters for heating ventilation air in air-heating systems and for heat recovery of low- and medium-temperature secondary energy resources.

The diameter of the supporting steel pipe is 25 mm, wall thickness is 2 mm. Geometrical parameters of aluminum fins, mm: outer diameter of the rib 56 mm; the diameter of the base of the rib 26.8 mm; rib height 14.6 mm; edge step 2.5 mm; average thickness of the ribs 0.5 mm; tube finning ratio 19.26.

The studies were carried out by the method of complete thermal modeling on a specially designed experimental stand, and the ring uniform contamination of the finned tube was created by tightly winding between the edges of a flax rope.

It was found that with natural convection in pipes with a close arrangement of fins of the intercostal space at the base of the fins does not lead to a significant decrease in thermal power (less than 10%), and the heat-generating properties of the pipe deteriorate only when the tops of the fins are contaminated (20.5%). The temperature along the lateral surface of the ribs decreases slightly (less than 2%), and at the top of the ribs relative to the base – by 6–9%.

Consequently, when operating finned heat exchangers under conditions of natural convection (for example, convectors of heating systems), their frequent and thorough cleaning from contamination is not necessary.

**Key words:** bimetallic tube, convector, contamination, thermal power during natural air convection.

**Введение.** Оребренные биметаллические трубы и пучки, состоящие из них, применяются в воздухоохлаждаемых теплообменниках для технологических систем охлаждения жидкостей и конденсации паров, а также в электрических и водяных калориферах для нагрева вентиляционного воздуха в системах воздушного отопления и при утилизации тепла низко- и среднетемпературных вторичных энергетических ресурсов.

В системах отопления широкое распространение получили конвекторы [1, 2], исполненные в виде стальных труб с круглыми или прямоугольными ребрами, достоинством которых являются малые габариты, наличие воздушной клапан-заслонки для регулирования теплового потока и высокое рабочее давление теплоносителя (до 1 МПа). Основным недостатком – трудоемкость очистки от пыли. При эксплуатации конвектора происходит снижение его тепловой мощности в результате загрязнения внутренней и наружной поверхности труб теплообменных секций.

Методики теплогидравлического расчета оребренных биметаллических труб и пучков из них для вынужденной и свободной конвекции приведены во многих источниках [3–9]. В справочной литературе [3, 4] имеется достаточно большое количество проверенных практикой данных по величине термического сопротивления движущихся внутри трубы различных охлаждаемых технологических продуктов и энергоносителей. Подходы к учету внешнего загрязнения представлены только для вынужденной конвекции и принципиально противоположные. По мнению [4, 5], влияние загрязнения с воздушной стороны можно не учитывать, так как коэффициент теплоотдачи от оребрения к охлаждающему воздуху низок и поэтому термическое сопротивление теплоотдачи с внешней стороны является определяющим в общем термическом сопротивлении теплопередачи. Однако натурные экспериментальные исследования [10, 11] теплопередачи натуральных аппаратов воздушного охлаждения из биметаллических ребристых труб с накатанными алюминиевыми ребрами указывают на уменьшение от внешнего загрязнения оребрения коэффициента теплопередачи до 12% при вынужденной конвекции.

Разработаны также теоретические модели расчета коэффициента теплопередачи оребренной биметаллической трубы с кольцевым равномерным загрязнением [12–15] для разреженных круглых ребер, которые, однако, не подтверждены экспериментальными данными.

Цель работы – экспериментальное исследование интенсивности теплового потока и распределение температур на оребренной чистой и загрязненной поверхности круглой трубы при свободной конвекции воздуха.

**Основная часть.** Объектом исследования являлась биметаллическая ребристая труба со спиральными накатными ребрами.

Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Диаметр несущей трубы  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм. Геометрические параметры оребрения: наружный диаметр ребра  $d = 56$  мм; диаметр по основанию ребра  $d_0 = d - 2h = 26,8$  мм; высота ребра  $h = 14,6$  мм; шаг ребра  $s = 2,5$  мм; средняя толщина ребра  $\Delta = 0,5$  мм; коэффициент оребрения трубы  $\phi = 19,26$ . Полная длина биметаллической трубы с торцевыми участками  $l_n = 330$  мм, теплоотдающая длина  $l = 300$  мм.

Исследования проводились методом полного теплового моделирования на специально разработанном экспериментальном стенде для исследования свободноконвективного теплообмена [1]. В центре стендовой камеры размером  $0,8 \times 0,8 \times 1$  м размещалась исследуемая оребренная труба, которая являлась калориметром с установленными средствами измерения.

Конструкция опытной трубы-калориметра представлена на рис. 1. Внутри биметаллической ребристой трубы 1, указанной выше, установлен трубчатый электронагреватель (ТЭН) 2 со следующими параметрами: диаметр – 12,5 мм, материал оболочки – углеродистая сталь, спираль 3 – проволока с высоким омическим сопротивлением, наполнитель – электро-технический периклаз марки ППЭ мощностью 320 Вт. С помощью центровочного кольца 4 обеспечивалась центральное расположение ТЭНа в трубе. А с целью устранения внутренних конвективных токов воздуха и равномерного прогрева трубы между ТЭНом и стальной стенкой трубки засыпался кварцевый песок 5 дисперсным составом 0,16–0,32 мм. Торцы трубок фиксировались высокотемпературной силиконовой замазкой 6.

Для измерения средней температуры поверхности калориметра у основания ребер  $t_{осн}$  зачеканивалось свинцом пять медь-константановых термопар 7 вдоль образующей трубы, сдвинутых относительно друг друга на угловое расстояние  $45^\circ$ . Термопары были заложены у основания ребер вдоль образующей трубы по винтовой линии на половине окружности трубы, считая, что вторая половина имеет симметричное поле температур. Также на поверхности ребра, размещенного в центре трубы, припаивались четыре медь-константановые термопары 8 (диаметр провода 0,2 мм) с шагом 3,65 мм от основания по высоте и последней термопарой, размещенной на верхушке ребра (рис. 1, сечение  $L$ ). Предварительно термопары были протарированы с точностью  $0,1^\circ\text{C}$ . Торцевые участки

оребренной трубы защищены фторопластовыми втулками 9 наружным диаметром  $d_{\text{вт}} = 45$  мм, длиной  $l_{\text{вт}} = 35$  мм, глубиной  $b_{\text{вт}} = 25$  мм. С целью измерения торцевых потоков тепла на поверхности обеих втулок с противоположных сторон закреплялось по два спая общей 4-спайной медь-константановой дифференциальной термобатарей.

Показания медь-константановых термопар 7 и 8 фиксировались с помощью вольтметра (модель GDM-78341 класса точности 0,25), подключенного через переключатель. Холодный спай всех термопар помещался в сосуд Дьюара.

При исследовании кольцевое равномерное загрязнение оребренной трубы создавалось путем плотной намотки между ребрами льняного шнура 10 диаметром 1,7–2,3 мм, средней теплопроводностью 0,039 Вт/(м·К). Таким образом, в межреберном пространстве создавался слой высотой  $h_3 = 3,3; 6,3; 8,7; 11,4; 16,1$  мм с неравномерностью  $\pm 0,4$  мм.

Подвод теплового потока к оребренным поверхностям обеспечивался ТЭНом, который подключался к регулируемому масляному трансформатору (модель АОМН-40-220-75). Мощность, подводимая к оребренной трубе, измерялась ваттметром (модель К 505 класса точности 0,5). Температура воздуха  $t_0$  внутри камеры измеря-

лась двумя ртутными лабораторными термометрами со шкалой 0–50°C и ценой деления 0,1°C, расположенными в диагонально противоположных ее углах. Ртутные шарики термометров защищались от излучения пучка экранами из алюминиевой фольги.

Теплота от оребренной поверхности конвекцией и излучением передавалась атмосферному воздуху, который за счет разности плотностей нагретого и холодного воздуха поднимался вверх в окружающую среду.

Во время экспериментального исследования оребренной трубы электрическая мощность, подводимая к трубе, поддерживалась постоянной  $W = (40 \pm 2)$  Вт, температура стенки у основания ребер составляла  $t_{\text{осн}} = 80\text{--}94^\circ\text{C}$ , а температура окружающего воздуха в камере  $t_0 = 18,4\text{--}20,1^\circ\text{C}$ .

Тепловой поток  $Q$ , Вт, отведенный от трубы к воздуху конвекцией и излучением, рассчитывался из уравнения

$$Q = W - Q_{\text{т}},$$

где  $Q_{\text{т}}$  – тепловые потери через торцы труб и топководы (рассчитывались через ранее полученную экспериментальную зависимость по средней температуре на поверхности втулок), Вт.

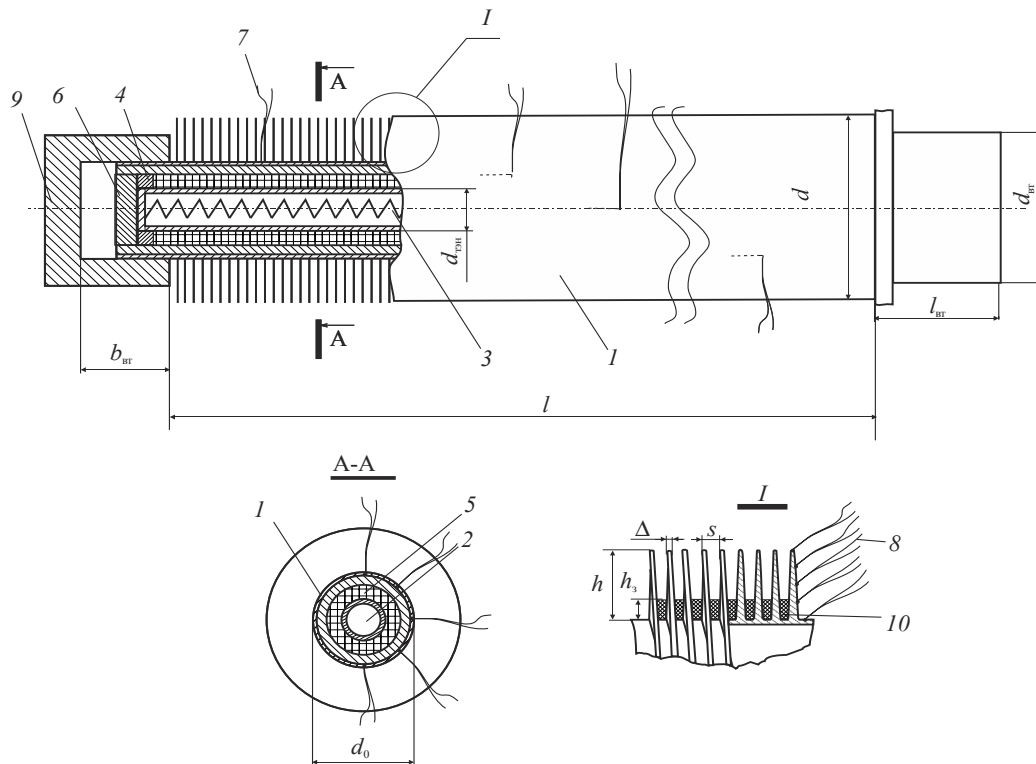


Рис. 1. Общий вид калориметрической трубы:

- 1 – биметаллическая ребристая труба; 2 – трубчатый электронагреватель (ТЭН);  
3 – спираль ТЭНа; 4 – центровочное кольцо; 5 – кварцевый песок; 6 – высокотемпературная силиконовая замазка; 7 – медь-константановые термопары у основания ребер;  
8 – медь-константановые термопары по высоте ребра; 9 – фторопластовая втулка; 10 – льняная веревка

Результаты экспериментов представлены на рис. 2, 3. На рис. 2 показана зависимость относительной тепловой мощности трубы  $Q / \Delta t_{\text{осн}}$  от высоты загрязнения  $h_3$ , где  $\Delta t_{\text{осн}} = t_{\text{осн}} - t_0$  – среднее увеличение температуры у основания оребрения над температурой окружающей среды.

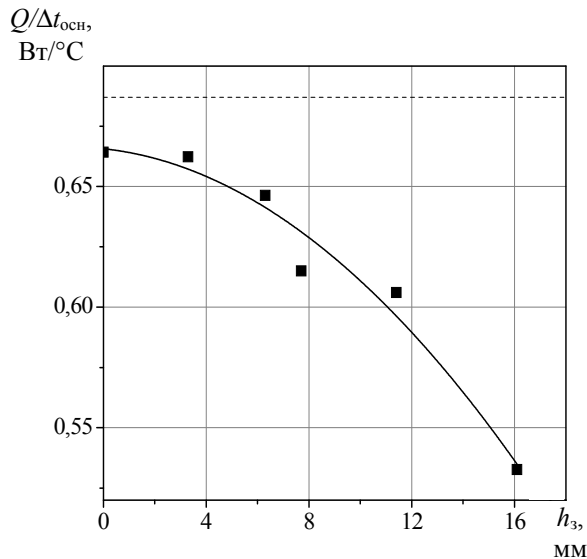


Рис. 2. Зависимость относительной тепловой мощности трубы  $Q / \Delta t_{\text{осн}}$  от высоты загрязнения  $h_3$

Как видно, при высоте загрязнения меньше высоты ребра ( $h_3 < h = 14,6$  мм) тепловая мощность трубы уменьшается незначительно (менее 10%). При полном закрытии оребрения слоем загрязнения ( $h_3 = 16,1$  мм) тепловая мощность уменьшается на 20,5%. По-видимому, это обусловлено тем, что при естественной конвекции в трубах с тесным расположением ребер в межреберном пространстве воздух остается практически неподвижным и является естественным изолятором, а основной отвод теплового потока осуществляется с верхушек оребрения. Поэтому загрязнения межреберного пространства у основания оребрения не приводит к существенному снижению тепловой мощности, а ухудшение теплоотдающих свойств трубы происходит только при загрязнении верхушек оребрения.

Это предположение косвенно подтверждается путем сравнения относительной тепловой мощности оребренной трубы с тепловой мощностью гладкой трубы диаметром, равным диаметру оребрения  $d = 56$  мм (на рис. 2 представлена в виде пунктирной линии), рассчитанной по [16]. Как видно, тепловые мощности чистой оребренной трубы и гладкой трубы сопоста-

вимы, что подтверждает представление об интенсивном отводе тепла с верхушек ребер.

На рис. 3 представлены зависимости относительного перепада температуры  $(t_p - t_0) / Q$  по высоте ребра  $h$  для чистой и загрязненной оребренной трубы, где  $t_p$  – температура на поверхности ребра, определенная термомпарами  $\delta$  (рис. 1, сечение  $I$ ). Пунктирной линией на рис. 3 показана граница раздела чистой и загрязненных областей оребренной поверхности (выше пунктирной области температуры  $t_p$  определялись термомпарами, закрытыми загрязнением).

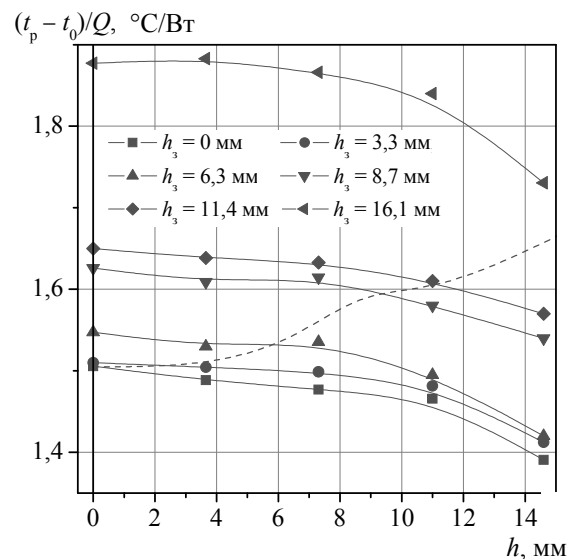


Рис. 3. Зависимости относительного перепада температуры  $(t_p - t_0) / Q$  по высоте ребра  $h$  для чистой ( $h_3 = 0$ ) и загрязненной оребренной трубы с высотой загрязнения  $h_3$

Как видно, температура по высоте боковой поверхности ребра уменьшается незначительно (менее 2%), а на верхушке ребра по отношению к основанию – на 6–9%.

**Заключение.** Проведено экспериментальное исследование интенсивности теплового потока и распределение температур на оребренной чистой и загрязненной поверхности круглой трубы при свободной конвекции воздуха.

При загрязнении оребренной поверхности только у основания ребер тепловая мощность теплообменной трубы уменьшается менее чем на 10%. Следовательно, при эксплуатации оребренных теплообменников в условиях естественной конвекции (например, конвекторов систем отопления) не обязательна их частая и тщательная очистка от загрязнений.

### Литература

1. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / В. М. Гусев [и др.]. Л.: Стройиздат, 1981. 343 с.
2. Максимов Г. А. Отопление и вентиляция. В 2 ч. Ч. 2. М.: Стройиздат, 1949. 258 с.

3. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 280 с.
4. Машины и аппараты химических производств: примеры и задачи / И. В. Доманский [и др.]. Л.: Машиностроение, 1982. 384 с.
5. Bott T. R. Fouling of Heat Exchangers. Amsterdam: Elsevier, 1995. 546 p.
6. Müller-Steinhagen H. Heat Exchanger Fouling. Mitigation and Cleaning Technologies. Essen: PUBLICO Publications, 2000. 382 p.
7. Анализ методик расчета теплопередачи аппаратов воздушного охлаждения / В. Б. Кунтыш [и др.] // Химическая техника. 2015. № 4. С. 14–17.
8. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. 512 с.
9. Керн Д., Краус А. Развитые поверхности теплообмена. М.: Энергия, 1977. 461 с.
10. Камалетдинов И. М. Энергосбережение при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2002. 24 с.
11. Беркутов Р. А. Повышение энергоэффективности систем охлаждения газа на компрессорных станциях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2010. 25 с.
12. Влияние внешнего загрязнения на эффективность теплообменных аппаратов воздушного охлаждения / В. И. Володин [и др.] // XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену: тез. докл. и сообщ., Минск, 10–13 сент. 2012. В 4 т. Минск: ИТМО имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2012. Т. 3. С. 315–317.
13. Дифференцированный учет термического сопротивления внешнего загрязнения оребрения труб шахматных пучков в тепловом расчете воздухоохлаждаемых теплообменников / А. Б. Сухоцкий [и др.] // XV Минский междунар. форум по тепло- и массообмену: тез. докл. и сообщ., Минск, 23–26 мая 2016 г. В 4 т. Минск: ИТМО имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2016. Т. 3. С. 424–426.
14. Карлович Т. Б. Теплопередача круглых ребристых труб при неравномерном эксплуатационном загрязнении межреберного пространства // Инженерно-физический журнал. 2018. Т. 91. № 5. С. 1278–1286.
15. Дударев В. В., Филатов С. О., Карлович Т. Б. Методика расчета и анализ коэффициента теплопередачи биметаллических ребристых труб аппаратов воздушного охлаждения с неравномерным внешним загрязнением // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2017. Т. 60. № 3. С. 237–255.
16. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973. 319 с.

### References

1. Gusev V. M., Kovalev N. I., Popov V. P., Potroshkov V. A. *Teplotekhnika, otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha* [Heat Engineering, Heating, Ventilation and Air Conditioning]. Leningrad, Stroiizdat Publ., 1981. 343 p.
2. Maksimov G. A. *Otopleniye i ventilyatsiya* [Heating and Ventilation]. Part. 2. Moscow, Stroiizdat Publ., 1949. 258 p.
3. Kuntyshev V. B., Kuznetsov N. M. *Teplovoy i aerodinamicheskiy raschet orebrennykh teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya* [Thermal and Aerodynamic Calculations of Finned Air Cooling Heat Exchangers]. St.-Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1992. 280 p.
4. Domanskii I. V., Isakov V. P., Ostrovskii G. M., Sokolov V. N. *Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv: primery i zadachi* [Machines and Apparatuses of Chemical Productions: Cases and Problems]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1982. 384 p.
5. Bott T. R. Fouling of Heat Exchangers. Amsterdam, Elsevier Publ., 1995. 546 p.
6. Müller-Steinhagen H. Heat Exchanger Fouling. Mitigation and Cleaning Technologies. Essen: PUBLICO Publ., 2000. 382 p.
7. Kuntyshev V. B., Sukhotskii A. B., Zhdanovich A. Yu., Piir A. E. Analysis of Methods of Calculation of Heat Transfer of Air Coolers. *Khimicheskaya tekhnika* [Chemical Engineering], 2015, no. 4, pp. 14–17 (In Russian).
8. Kuntyshev V. B., Bessonnyi A. N. (eds.) *Osnovy rascheta i proyektirovaniya teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya: spravochnik* [Fundamentals of Calculation and Design of Heat Exchangers of Air Cooling: reference book]. St.-Petersburg, Nedra Publ., 1996. 512 p.
9. Kern D., Kraus A. *Razvityye poverkhnosti teploobmena* [The Developed Surface of Heat Exchange]. Moscow, Energiya Publ., 1977. 461 p.
10. Kamaletdinov I. M. *Energoberezheniye pri ekspluatatsii apparatov vozdušnogo okhlazhdeniya na magistral'nykh gazoprovodakh: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Energy saving during operation of air cooling devices on main gas tube lines. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Ufa, 2002, 24 p.

11. Berkutov R. A. *Povysheniye energoeffektivnosti sistem okhlazhdeniya gaza na kompressornykh stantsiyakh: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving the energy efficiency of gas cooling systems at compressor stations. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Ufa, 2010, 25 p. (In Russian).
12. Volodin V. I., Kuntyshev V. B., Petreeva N. G., Bessonnyi A. N., Bessonnyi E. A. Influence of External Contamination on Efficiency of Air Cooling Units. *XV Minskiy Mezhdunar. forum po teplo- i massoobmenu: tezisy dokl. i soobshch., Minsk, 23–26 Maya 2016 g. T. 3* [XV Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer: Abstracts of Presentations and Communications, Minsk, 10–13 September, 2012. Vol. 3]. Minsk, A. V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2012, pp. 315–317 (In Russian).
13. Sukhotskii A. B., Kuntyshev V. B., Bessonnyi A. N., Minnigaleev A. Sh., Zhdanovich A. Yu. Differentiated Account of Thermal Resistance of an External Contaminant of Tube Fins of Staggered Bundles in the Thermal Calculation of Air-Cooled Heat Exchangers. *XV Minskiy Mezhdunar. forum po teplo- i massoobmenu: tezisy dokl. i soobshch., Minsk, 23–26 maya 2016 g. T. 3* [XV Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer: Abstracts of Presentations and Communications, Minsk, 23–26 May, 2016. Vol. 3]. Minsk, A. V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 2016, pp. 424–426 (In Russian).
14. Karlovich T. B. Heat Transfer of Round Finned Tubes at Irregular Operational Contamination of Intercostal Space. *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal* [Journal of Engineering Physics], 2018, vol. 91, no. 5, pp. 1278–1286 (In Russian).
15. Dudarev V. V., Filatov S. O., Karlovich T. B. The Method of Calculation and Analysis of Heat Transfer Coefficient of Bimetallic Finned Tubes of Air Cooling Units with Irregular External Contamination. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'edineniy SNG* [Energetics. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc], 2017, vol. 60, no. 3, pp. 237–255 (In Russian).
16. Miheev M. A., Miheeva I. M. *Osnovy teploperedachi* [Fundamentals of Heat Transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1973. 319 p.

#### Информация об авторах

**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

**Карлович Татьяна Борисовна** – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tbkar@mail.ru

**Фарафонов Валерий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

#### Information about the authors

**Sukhotski 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

**Karlovich Tatyana Borisovna** – PhD (Physics and Mathematics), Senior Lecturer, the Department of Energy-Saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tbkar@mail.ru

**Farafontov Valeriy Nikolaevich** – 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).

Поступила 27.03.2019



УДК 536.25

**А. Б. Сухоцкий, Е. С. Данильчик**

Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА  
ОРЕБРЕННОЙ ТРУБЫ И ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ  
УГЛАХ НАКЛОНА ТРУБ К ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ**

Проанализированы исследования в области свободноконвективного теплообмена на биметаллических ребристых трубах и их пучках при различных углах наклона осей труб под углом  $\gamma$ , а также при различных углах наклона продольной оси пучка  $\omega$ .

Проведены экспериментальные исследования приведенных коэффициентов теплоотдачи в режиме свободной конвекции оребренной трубы и однорядного пучка из шести таких труб с шагом  $S_1 = 64$  мм при различных углах наклона  $\gamma$  осей труб к горизонтальной плоскости с коэффициентом оребрения труб  $\phi = 19,26$ . Исследовались углы  $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$  и  $90^\circ$ .

Исследуемые биметаллические ребристые трубы имели следующие характеристики: материал несущей трубы – углеродистая сталь (наружный диаметр  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм), материал накатной ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М. Геометрические параметры ребер:  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 56 \times 26,8 \times 14,6 \times 2,5 \times 0,5 \times 300$  мм.

Исследования проводились методом полного теплового моделирования на специально разработанном экспериментальном стенде.

Показано, что теплоотдача однорядного пучка выше, чем у оребренной трубы, что связано с изменением гидродинамики потока обтекания трубы и увеличением скорости воздуха, проходящего через трубу.

Установлено, что увеличение угла наклона охлаждаемых естественным потоком воздуха однорядных оребренных пучков приводит к снижению теплоотдачи, но отклонение от горизонтальной плоскости  $\pm 15^\circ$  не влияет существенно на их тепловую мощность.

**Ключевые слова:** свободноконвективный теплообмен, биметаллическая ребристая труба, однорядный оребренный пучок, различные углы наклона, коэффициент теплоотдачи, число Нуссельта, число Рэлея.

**A. B. Sukhotski, E. S. Danil'chik**

Belarusian State Technological University

**RESEARCH OF FREE-CONVECTIVE HEAT EXCHANGE FINNED TUBE  
AND SINGLE-RANGE BUNCH AT DIFFERENT ANGLE OF TUBES  
TOWARDS HORIZONTAL PLANE**

Analyzed research in the field of free-convective heat transfer on bimetallic finned tubes and their bunches at different angles of inclination of the tube axes at an angle  $\gamma$ , as well as at different angles of inclination of the longitudinal axis of the bunch  $\omega$ .

Experimental studies of reduced heat transfer coefficients in the free-convection mode of finned tube and single-range bunch of six such tubes with step  $S_1 = 64$  mm at different angles of inclination  $\gamma$  of tube axes to the horizontal plane with tube finning factor  $\phi = 19.26$ . Angles  $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$ , and  $90^\circ$  were investigated.

The bimetallic finned tubes under investigation had the following characteristics: the material of the supporting tube was carbon steel (outer diameter  $d_n = 25$  mm, wall thickness  $\delta = 2$  mm), the material of the knurled ribbed shell was aluminum alloy AD1M. The geometrical parameters of the ribs:  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 56 \times 26.8 \times 14.6 \times 2.5 \times 0.5 \times 300$  mm.

The studies were carried out by the method of complete thermal modeling on a specially designed experimental stand.

It is shown that the heat transfer of a single-range bunch is higher than that of a finned tube, which is associated with a change in the hydrodynamics of the flow around the tube and an increase in the velocity of air passing through the tube.

It has been established that an increase in the tilt angle of single-range finned bunch cooled by the natural air flow leads to a decrease in heat transfer, but a deviation from the horizontal plane of  $\pm 15^\circ$  does not significantly affect their thermal power.

**Key words:** free-convective heat transfer, bimetallic finned tube, single-range bunch, different angles of inclination, heat transfer coefficient, Nusselt number, Rayleigh number.

**Введение.** В последние десятилетия XX и в начале XXI века свободноконвективный теплообмен в различных отраслях техники и промышленности приобретает все большее распространение.

Использование режимов свободноконвективного теплообмена обеспечивает энергосбережение, улучшение охраны окружающей среды и повышает в ряде случаев надежность эксплуатации энергетических установок. Все это очень актуально в эпоху ресурсо- и энергосбережения, в которой мы сейчас находимся.

Областью применения свободно-конвективных процессов являются химическая и нефтехимическая промышленность, энергетические установки (в теплообменниках воздушного охлаждения, в радиаторах охлаждения масла крупных силовых электротрансформаторов, при воздушном охлаждении мощных полупроводниковых преобразователей энергии и т. д.), компрессорные станции с трубопроводами, охлаждение многих нагруженных электроприборов, нагрев агента сушки влажных материалов, системы вентиляции и воздушного отопления зданий и т. д. [1, 2].

Свободноконвективный теплообмен является сложным процессом, особенно на оребренных поверхностях, так как состоит из двух равнозначных составляющих: конвективной и лучистой. Поэтому для расчета свободноконвективной теплоотдачи принято использовать критериальные уравнения, полученные экспериментально. Теоретические методы описания и расчета сложны, громоздки, а иногда и неосуществимы.

Также сложность в изучении свободноконвективного теплообмена заключается в отсутствии целостного мнения о выборе характерного размера и определяющей температуры. Все это приводит к различию полученных значений коэффициентов теплоотдачи вследствие сложности выбора достоверной методики их определения.

В работе [3] проводились всесторонние экспериментальные исследования порядной и средней свободноконвективной теплоотдачи биметаллических ребристых труб (БРТ) с накатными алюминиевыми ребрами следующих параметров: с коэффициентом оребрения труб  $\phi = 16,8$ ,  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 55,6 \times 26,5 \times 14,55 \times 2,91 \times 0,75 \times 300$  мм; с коэффициентом оребрения труб  $\phi = 21$ ,  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 56,9 \times 26,36 \times 15,27 \times 2,44 \times 0,55 \times 400$  мм. Для обоих типов труб материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М. Диаметр несущей трубы  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм. Материал несущей трубы для  $\phi = 16,8$  – латунь; для  $\phi = 21$  – сталь 10.

Из труб с  $\phi = 16,8$  собирались шахматные равносторонние пучки с шагами разбивки труб

$S_1 = S_2' = 58-100$  мм и числом поперечных рядов  $z = 2-4$  и  $z = 5$  с шагом  $S_1 = S_2' = 64$  мм, а также одиночная ребристая труба и однорядные пучки при этих же шагах труб. Угол наклона  $\gamma$  осей труб к горизонтальной плоскости в двух-, трех-, четырех- и пятирядных пучках составлял  $\gamma = 0-60^\circ$ , а для одиночной трубы и однорядного пучка еще дополнительно исследовался  $\gamma = 90^\circ$ . Также рассматривались равносторонние шахматные четырехрядные пучки с шагом  $S_1 = S_2' = 64$  мм при угле наклона продольной оси пучка  $\omega = 0, 15, 30, 45, 60^\circ$ .

Из труб с  $\phi = 21$  собирались горизонтальные шахматные равносторонние пучки с шагом разбивки труб  $S_1 = S_2' = 64$  мм и числом поперечных рядов  $z = 2-3$ . А четырехрядный пучок с таким же шагом труб исследовался еще под различными углами наклона к горизонтальной плоскости  $\gamma = 0-60^\circ$ . Также рассматривались одиночная оребренная труба и однорядный пучок с шагом  $S_1 = 64$  мм.

В результате были предложены расчетные критериальные уравнения для порядной и средней теплоотдачи исследованных пучков с учетом всего диапазона конструкторско-компоновочных характеристик пучков, имевших  $Ra = (0,3-4,0) \cdot 10^5$ .

Интервал применимости  $Ra = (0,3-4,0) \cdot 10^5$ . А также предложены зависимости поправочных коэффициентов с учетом углов наклона  $\gamma$  и  $\omega$ .

В работе [4] исследовалась свободноконвективная теплоотдача коридорных пучков, которые собирались из таких же промышленных биметаллических труб с коэффициентом оребрения труб  $\phi = 16,8$ , что и в работе [3]. Было исследовано два варианта компоновки коридорных пучков. На моделях двух-, трех- и четырехрядных пучков с шагами  $S_1 = 70$  мм,  $S_2 = 61$  мм и  $S_1 = 76$  мм,  $S_2 = 64$  мм были проведены опыты с наклоном осей труб под углом  $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60^\circ$  к горизонтальной плоскости. На двух- и трехрядных пучках с шагами  $S_1 = 70$  мм,  $S_2 = 61$  мм выполнены опыты при различных углах наклона продольной оси пучка  $\omega = 0, 30, 45, 60^\circ$ . По результатам экспериментальных исследований было получено обобщенное критериальное уравнение для проектирования широкого круга теплообменных аппаратов с различной конфигурацией пучка. Интервал применимости  $Ra = (0,2-0,76) \cdot 10^5$ . Определено, что теплоотдача двухрядных коридорных пучков имеет максимум при углах наклона  $\gamma = 15^\circ$ , четырехрядных – при  $\gamma = 30^\circ$ , при этом угол наклона осей труб по отношению к горизонтальной плоскости  $\gamma$  практически не влияет на теплоотдачу трехрядных пучков. Для всех моделей исследованных пучков характерен ярко выраженный максимум теплоотдачи при угле наклона продольной оси

пучка  $\omega = 30^\circ$ . Теплоотдача пучков при  $\omega = 15^\circ$  и  $\omega = 45^\circ$  практически не отличается.

В работе [5] были проведены экспериментальные исследования свободноконвективной теплоотдачи двухрядных наклонных коридорных пучков с коэффициентом оребрения труб  $\phi = 16,8$ , собранных из БРТ следующих параметров:  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 55,65 \times 26,63 \times 14,51 \times 2,91 \times 0,75 \times 300$  мм. Число поперечных рядов труб в пучке составляло  $z = 5$ . Несущая труба – латунь Л68 (наружный диаметр  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм), накатное оребрение – алюминиевый сплав АД1М. Опыты проведены на двух моделях пучков, с шагами  $S_1 = 70$  мм,  $S_2 = 61$  мм и  $S_1 = 76$  мм,  $S_2 = 64$  мм, оси труб которых располагались при следующих углах наклона  $\gamma$  к горизонтальной плоскости:  $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60^\circ$ . Исследованные коридорные пучки сравнивались с наклонными шахматными пучками с разбивкой труб по равностороннему треугольнику  $S_1 = S_2' = 70$  мм и  $S_1 = S_2' = 76$  мм [3], где  $S_2'$  – диагональный шаг пучка. Установлено, что теплоотдача шахматных пучков при том же числе Релея ( $Ra = 150\,000$ ) выше, чем в коридорных. Для горизонтальных пучков это различие доходит до 30%, но с ростом угла наклона  $\gamma$  теплоотдача шахматных и коридорных пучков приближается к одним и тем же значениям.

В [6] рассмотрена свободноконвективная теплоотдача одиночной биметаллической ребристой трубы при различных углах наклона  $\gamma$  оси трубы к горизонтальной плоскости ( $\gamma = 0, 30, 45, 60$  и  $90^\circ$ ) с коэффициентом оребрения  $\phi = 21$  следующих параметров:  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 56 \times 26 \times 15 \times 2,5 \times 0,5 \times 300$  мм. Несущая труба – углеродистая сталь (наружный диаметр  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм), накатное оребрение – алюминиевый сплав АД1М. В результате экспериментальных исследований были построены графики зависимости чисел подобия Нуссельта  $Nu$  от Рэлея  $Ra$  при различных углах наклона  $\gamma$ .

В работах [3, 6] теплофизические свойства воздуха  $\lambda, \nu, \rho, c_p, \beta$  определяли по температуре окружающего воздуха в камере  $t_0$ . В работах [4, 5]  $\lambda, \nu, \rho, c_p$  определяли по температуре стенки ребренной трубы  $t_{ст}$ , а  $\beta$  – по температуре окружающего воздуха в камере  $t_0$ . За определяющий размер принимался диаметр трубы по основанию ребер  $d_0$ .

Цель настоящей работы – экспериментальные исследования приведенных коэффициентов теплоотдачи в режиме свободной конвекции ребренной трубы и однорядного пучка при различных углах наклона  $\gamma$  осей труб к горизонтальной плоскости с коэффициентом оребрения труб  $\phi = 19,26$  и анализ полученных данных.

**Основная часть.** Объектом исследования являлась биметаллическая ребристая труба со

спиральными накатными ребрами и однорядный пучок, состоящий из шести трубок, расположенных с шагом  $S_1 = 64$  мм при различных углах наклона  $\gamma$  к горизонтальной плоскости. А именно исследовались углы  $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$  и  $90^\circ$ .

Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Диаметр несущей трубы  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм. Геометрические параметры оребрения: наружный диаметр ребра  $d = 56$  мм; диаметр по основанию ребра  $d_0 = d - 2h = 26,8$  мм; высота ребра  $h = 14,6$  мм; шаг ребра  $s = 2,5$  мм; средняя толщина ребра  $\Delta = 0,5$  мм; коэффициент оребрения трубы  $\phi = 19,26$ . Полная длина биметаллической трубы с торцевыми участками  $l_n = 330$  мм, теплоотдающая длина  $l = 300$  мм.

Исследования проводились методом полного теплового моделирования на специально разработанном экспериментальном стенде (рис. 1) [7] для исследования свободноконвективного теплообмена.

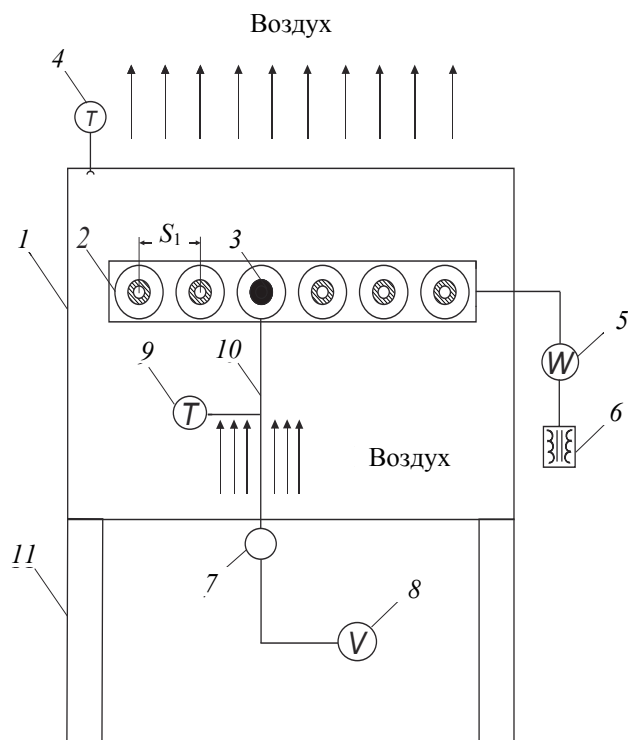


Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования свободной конвекции: 1 – камера; 2 – исследуемая ребренная поверхность (ребренная труба или однорядный пучок); 3 – калориметрическая труба; 4 – лабораторный термометр; 5 – ваттметр; 6 – трансформатор; 7 – переключатель; 8 – вольтметр; 9 – сосуд Дьюара; 10 – хромель-алюмелевые термопары; 11 – опоры

В центре стендовой камеры 1 размером  $0,8 \times 0,8 \times 1$  м размещалась исследуемая ребренная

поверхность 2 (оробренная труба или однорядный пучок) из обогреваемых переменным электрическим током труб. Одиночная оробренная труба и центральная труба в однорядном пучке являлась калориметром 3, на которой были установлены основные средства измерения. Показания хромель-алюмелевых термопар 10 и 4-спайной медь-константановой дифференциальной термобатареи (для измерения торцевых потерь оробренной трубы), заложенных на наружной поверхности трубы-калориметра, фиксировались с помощью вольтметра 8 (модель GDM-78341 класса точности 0,25), подключенного через переключатель 7. Холодный спай всех термопар помещался в сосуд Дьюара 9.

Подвод теплового потока к оробренным поверхностям обеспечивался за счет установки внутри оробренных труб трубчатых электронагревателей (ТЭНов), которые подключались параллельно к регулируемому масляному трансформатору 6 (модель АОМН-40-220-75). Мощность, подводимая к оробренной трубе или к однорядному пучку, измерялась ваттметром 5 (модель К 505 класса точности 0,5). Температура воздуха  $t_0$  внутри камеры измерялась двумя ртутными лабораторными термометрами 4 со шкалой 0–50°C и ценой деления 0,1°C, расположенными в диагонально противоположных ее углах. Ртутные шарики термометров защищались от излучения пучка экранами из алюминиевой фольги.

Исследуемый угол наклона  $\gamma$  трубы и пучка, образований их осями и горизонтальной поверхностью, обеспечивался в экспериментальной камере с помощью системы растяжек.

Теплота от оробренных поверхностей конвекцией и излучением передавалась атмосферному воздуху, который за счет разности плотностей нагретого и холодного воздуха поднимался вверх в окружающую среду.

Конструкция опытной трубы-калориметра, с помощью которой проводились все основные измерения, представлена на рис. 2. Внутри биметаллической ребристой трубы 1, указанной выше, вставлялся трубчатый электронагреватель (ТЭН) 2 со следующими параметрами: диаметр – 12,5 мм, материал оболочки – углеродистая сталь, спираль 3 – проволока с высоким омическим сопротивлением, наполнитель – электротехнический периклаз марки ППЭ мощностью 320 Вт. С помощью центровочного кольца 4 обеспечивалась центральное расположение ТЭНа в трубе. А с целью устранения внутренних конвективных токов воздуха и равномерного прогрева трубы между ТЭНом и стальной стенкой трубки засыпался кварцевый песок 5 дисперсным составом 0,16–0,32 мм. Торцы трубок фиксировались высокотемпературной силиконовой замазкой 6.

В остальных трубах пучка установка ТЭНов была аналогичная.

Для измерения средней температуры поверхности калориметра у основания ребер заложено пять хромель-алюмелевых термопар 7 вдоль образующей трубы, сдвинутых относительно друг друга на угловое расстояние 45°. Термопары были заложены у основания ребер вдоль образующей трубы по винтовой линии на половине окружности трубы, считая, что вторая половина имеет симметричное поле температур. Чувствительные спаи термопар зачеканены свинцовой пластиной в профрезерованные канавки размером 4×0,8×0,8 мм в стенку накатной ребристой оболочки. Провода хромель-алюмелевых термопар имеют диаметры: хромелевый – 0,16 мм, алюмелевый – 0,12 мм. Предварительно термопары были протарированы с точностью 0,1°C.

При исследовании оробренной трубы торцевые ее участки защищались фторопластовыми втулками 9 наружным диаметром  $d_{вт} = 45$  мм, длиной  $l_{вт} = 35$  мм и глубиной  $b_{вт} = 25$  мм (рис. 2, а). С целью измерения торцевых потоков тепла на поверхности обеих втулок с противоположных сторон закреплены по два спая общей 4-спайной медь-константановой дифференциальной термобатареи 10. Провода медь-константановой термопары имеют диаметры: медный – 0,2 мм, константановый – 0,2 мм. Предварительно термопара была также протарирована с точностью 0,1°C.

При исследовании однорядного пучка торцевые участки труб защищались теплоизолирующим коробом 11 с минеральной ватой 12 (рис. 2, б). Длина короба составила  $l_k = 30$  мм (длина минеральной ваты  $l_{м.в} = 19$  мм), а высота  $h_k = 65$  мм.

Во время экспериментального исследования оробренной трубы и однорядного пучка электрическая мощность, подводимая к трубе, изменялась в пределах  $W = 9–260$  Вт, температура стенки у основания ребер составляла  $t_{ст} = 35–255$ °C, а температура окружающего воздуха в камере  $t_0 = 18,5–25,5$ °C. Теплофизические свойства воздуха  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $\rho$ ,  $c_p$ ,  $\beta$  определяли по температуре окружающего воздуха в камере  $t_0$ . За определяющий размер был принят диаметр трубы по основанию ребер  $d_0$ .

По данным измерений рассчитывался средний приведенный коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной наружной поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_k = \frac{Q_k}{F \cdot (t_{ст} - t_0)}, \quad (1)$$

где  $Q_k$  – тепловой поток, отведенный конвекцией от трубы воздуху, Вт;  $F = \pi d_0 l \phi$  – площадь

теплоотдающей оребренной поверхности,  $\text{м}^2$ ;  
 $t_{\text{ст}}$  – средняя температура поверхности стенки у основания ребер трубы (среднеарифметическая температура по показаниям термопар),  $^{\circ}\text{С}$ .

Тепловой поток, отведенный конвекцией от трубы к окружающему воздуху, рассчитывался из уравнения

$$Q_{\text{к}} = W - Q_{\text{л}} - Q_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $W$  – электрическая мощность, подводимая к калориметру, Вт;  $Q_{\text{л}}$  – тепловой поток, отведенный излучением от трубы к воздуху, Вт [3, 8, 9];  $Q_{\text{п}}$  – тепловые потери через торцы труб и токопроводы, Вт.

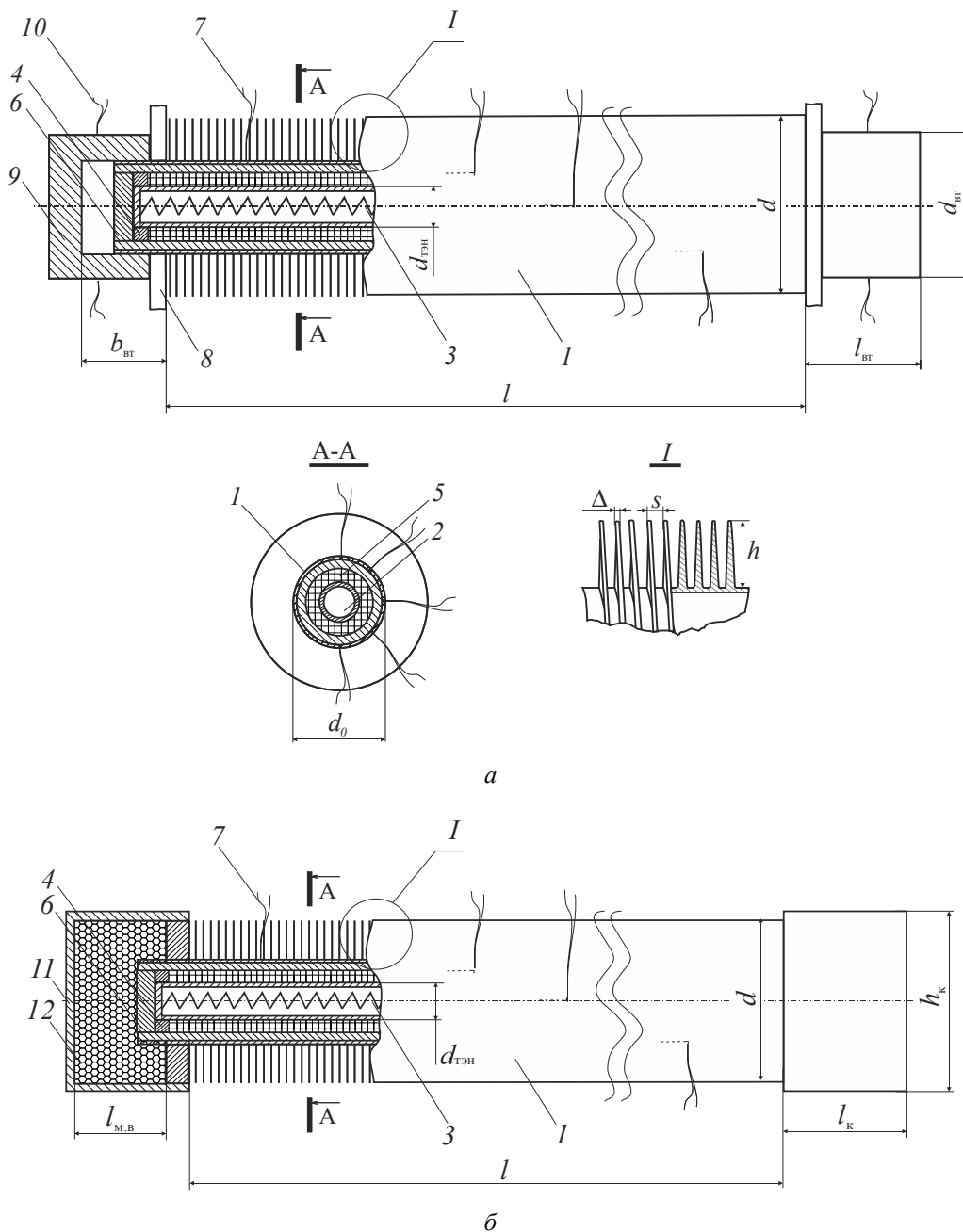


Рис. 2. Общий вид калориметрической трубы:

*a* – при исследовании оребренной трубы; *б* – при исследовании однорядного пучка:

1 – биметаллическая ребристая труба; 2 – трубчатый электронагреватель (ТЭН);

3 – спираль ТЭНа; 4 – центровочное кольцо; 5 – кварцевый песок; 6 – высокотемпературная силиконовая замазка; 7 – хромель-алюмелевые термопары; 8 – трубная доска из МДФ;

9 – фторопластовая втулка; 10 – 4-спайная медь-константановая дифференциальная термобатарея;

11 – теплоизолирующий короб; 12 – минеральная вата

Торцевые тепловые потери калориметра  $Q_p$ , как в случае защиты торцов труб фторопластовыми втулками, так и в случае защиты их теплоизолирующим коробом с минеральной ватой, определяли по результатам предварительных опытов на теплоизолированной трубе.

Результаты эксперимента представлялись в числах подобия Рейля и Нуссельта:

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot d_0^3 \cdot (t_{ст} - t_0)}{\nu \cdot a}; \quad (3)$$

$$Nu = \alpha_k \cdot \frac{d_0}{\lambda}, \quad (4)$$

где  $Gr$  – число Грасгофа;  $Pr$  – число Прандтля;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $\beta$  – коэффициент температурного расширения,  $K^{-1}$ ;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $m^2/c$ ;  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $m^2/c$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $Вт/(К \cdot м)$ .

Результаты экспериментальных исследований оребренной трубы и однорядного пучка с шагом  $S_1 = 64$  мм при различных углах наклона  $\gamma$  к горизонтальной плоскости представлены на рис. 3.

Из графиков на рис. 3 следует, что теплоотдача однорядного пучка выше, чем у оребренной трубы, что связано с изменением гидродинамики потока обтекания трубы и увеличением скорости воздуха, проходящего через трубу.

На рис. 3, а показано, что увеличение угла наклона оребренной трубы от 0 до 60° сопровождается монотонным снижением теплоотдачи, а при вертикальном расположении трубы ( $\gamma = 90^\circ$ ) снижение теплоотдачи приобретает иной характер, что связано со слабой циркуляцией воздуха в межреберных полостях, и конвективный поток преимущественно отводится лишь с торцевых поверхностей ребер. При этом теплоотдача при  $\gamma = 15^\circ$  очень близка к полученным ее значениям при  $\gamma = 0^\circ$ , а теплоотдача вертикальной оребренной трубы приблизительно в 2 раза хуже теплоотдачи горизонтальной трубы.

На рис. 3, б показано, что характер снижения теплоотдачи однорядного пучка от 0 и 15 до 45° один, а для 60 и 90° другой, что объясняется иной гидродинамикой потока пучка труб по сравнению с одиночной трубой. Это можно объяснить ухудшением условий обтекания воздухом межреберного пространства. Очень интересен тот факт, что при  $\gamma = 0^\circ$  и  $\gamma = 15^\circ$  теплоотдача практически одинакова ( $\pm 1,0-1,5\%$ ). При этом ее значения при  $\gamma = 30^\circ$  также приближаются к значениям при  $\gamma = 0^\circ$  и  $\gamma = 15^\circ$ , что ведет к уменьшению габаритов теплообменного пучка в про-

странстве. Теплоотдача же вертикального однорядного пучка хуже теплоотдачи горизонтального однорядного пучка приблизительно в 2,7 раза.

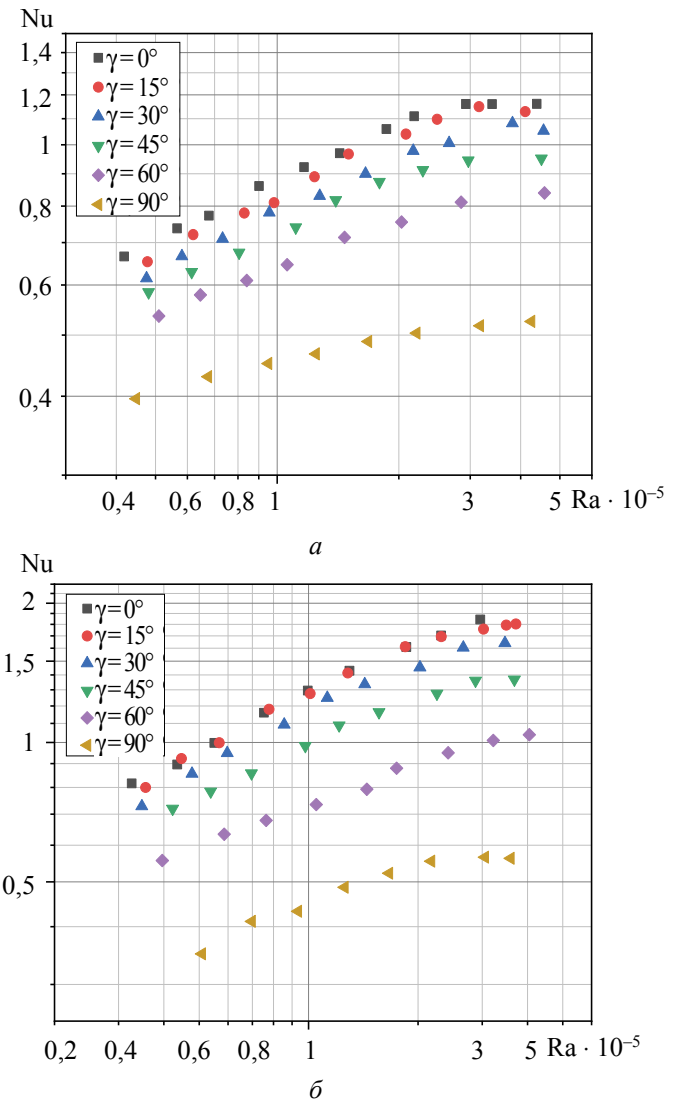


Рис. 3. Свободноконвективная теплоотдача оребренной трубы (а) и однорядного пучка с шагом  $S_1 = 64$  мм (б) при различных углах наклона  $\gamma$  к горизонтальной плоскости

**Закключение.** Проведены экспериментальные исследования и анализ приведенной свободноконвективной теплоотдачи оребренной трубы и однорядного пучка при различных углах наклона  $\gamma$  к горизонтальной плоскости. Установлено, что увеличение угла наклона охлаждаемым естественным потоком воздуха однорядных оребренных пучков приводит к снижению теплоотдачи, но отклонение от горизонтальной плоскости  $\pm 15^\circ$  не влияет существенно на их тепловую мощность.

### Литература

1. Свободноконвективные течения. Тепло- и массообмен: в 2 кн. / Б. Гебхарт [и др.]; пер. с англ. М.: Мир, 1991. Кн. 1. 678 с.

2. Джалурия Й. Естественная конвекция. Тепло- и массообмен; пер. с англ. М.: Мир, 1983. 400 с.
3. Самородов А. В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками: автореферат дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГТУ, 1999. С. 3–22.
4. Новожилова А. В., Марьина З. Г., Львов Е. А. К расчету теплообмена коридорных пучков из биметаллических ребристых труб при различных углах наклона труб в режиме свободной конвекции // Тез. докл. и сообщений XV Минского международного форума по тепло- и массообмену, 23–26 мая 2016 г.: в 2 т. Минск, 2016. Т. 1. С. 157–161.
5. Позднякова А. В., Самородов А. В. Влияние угла наклона на свободноконвективный теплообмен двухрядных коридорных пучков из оребренных труб // Повышение эффективности теплообменных процессов и систем: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Вологда: ВоГТУ, 2000. С. 58–60.
6. Разработка стенда и исследование свободной конвекции одиночной оребренной трубы при различных углах наклона / А. Б. Сухоцкий [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 1 (192). С. 169–175.
7. Сидорик Г. С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 85–93.
8. Кунтыш В. Б., Самородов А. В. Исследование влияния угла наклона круглоребристых труб на свободноконвективный теплообмен шахматного пучка в неограниченном объеме воздуха // Инженерно-физический журнал. 2010. № 2. С. 338–344.
9. Самородов А. В., Рощин С. П., Кунтыш В. Б. Лучистый теплообмен одиночной ребристой трубы с окружающей средой // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. 1997. Вып. II. С. 102–113.
10. Самородов А. В. К расчету теплообмена излучением круглоребристых труб и пучков // Труды лесоинженерного факультета Петрозаводского гос. ун-та. 1999. Вып. 2. С. 135–142.
11. Merkin J. H. The effect of buoyancy forces on the boundary-layer flow over a semi-infinite vertical flat plate in a uniform free stream // Journal of Fluid Mechanics. 1969. Vol. 35. P. 439–450.
12. Lloyd J. R., Sparrow E. M. Combined forced and free convection flow on vertical surface // Int. J. Mass Transfer. 1970. Vol. 13. P. 434–438.
13. Мачулин В. И. Теплообмен вертикального ряда труб при естественной конвекции воздуха // Холодильная техника. 1976. № 7. С. 24–25.
14. Кунтыш В. Б., Позднякова А. В., Мелехов В. И. Теплоотдача естественной конвекцией одиночного ряда вертикальных оребренных труб калориферов лесосушильных камер // Изв. вузов. Лесной журнал. 2002. № 2. С. 116–119.
15. Новожилова А. В. Анализ методик определения теплоотдачи воздуха на оребренных поверхностях нагрева при свободной конвекции // Проблемы теплоэнергетики Европейского севера: сб. науч. тр. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. С. 88–97.
16. Мартыненко О. Г., Соковишин Ю. А. Свободноконвективный теплообмен: справочник. Минск: Наука и техника, 1982. 400 с.
17. Сухоцкий А. Б., Сидорик Г. С. Повышение энергоэффективности теплообменников воздушного охлаждения // Экология и промышленность. 2017. № 2. С. 72–77.

#### References

1. Gebhart V. *Svobodno-konvektivnye techeniya. Teplo- i massoobmen* [Free-convective currents. Heat and mass exchange]. Moscow, Mir Publ., 1991, vol. 1, 678 p.
2. Jaluria Y. *Estestvennaya konvektsiya. Teplo- i massoobmen* [Natural convection. Warm and mass exchange]. Moscow, Mir Publ., 1983. 400 p.
3. Samorodov A. V. *Sovershenstvovaniye metodiki teplovogo rascheta i proektirovaniya apparatov vozdushnogo okhlazhdeniya s shakhmatnymi puchkami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Perfection of a technique of thermal calculation and design of air coolers with chess ribbed beams. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 1999, pp. 3–22.
4. Novozhilova A. V., Maryina Z. G., L'vov E. A. To the calculation of the heat exchange of corridor bundles from bimetallic ribbed pipes at different tube angles in the free convection regime. *Tez. dokl. i soobshcheniy XV Minskogo mezhdunarodnogo foruma po teplo- i massobmenu* [Abstracts and reports of the XV International Forum on Heat and Mass Transfer]. Minsk, May 23–26, 2016, pp. 157–161 (In Russian).

УДК 674.05:621.914.1

**В. Н. Гаранин, Д. Л. Болочко**

Белорусский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КАСАТЕЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ СОСНЫ**

В представленной работе уделено внимание установлению взаимосвязи между касательной составляющей силы резания  $F_k$  и образующимся звуковым давлением при фрезеровании древесины сосны  $p$ .

Выполнен анализ возможностей работы со звуковым давлением при эксплуатации деревообрабатывающего оборудования: 1) устранение влияния звукового давления на обслуживающий персонал; 2) использование звука в исследовательских целях для изучения процессов резания древесины.

Предложено использовать коэффициент  $K$  для установления взаимосвязи между  $F_k$  и  $p$ . Эксперименты на представленных режимах показали устойчивую зависимость рассматриваемых параметров процесса обработки древесины.

**Ключевые слова:** звуковое давление, эксперимент, сила, станок, шум.

**V. N. Garanin, D. L. Bolochko**

Belarusian State Technological University

**DETERMINATION OF INTERRELATION OF THE TANGENT BEING FORCE OF CUTTING AND INCREASE IN SOUND PRESSURE WHEN MILLING THE PINE**

In the presented work attention is paid to establishing the relationship between the tangential component of the cutting force  $F_k$  and the resulting sound pressure  $p$  when milling pine wood.

The analysis of the possibilities of working with sound pressure during the operation of woodworking equipment was carried out: 1) elimination of the influence of sound pressure on the staff; 2) use for research purposes to study the processes of cutting wood.

It is proposed to use the coefficient  $K$  to establish the relationship between  $F_k$  and  $p$ . Experiments on the modes presented above showed a steady dependence of the considered parameters of the wood processing.

**Key words:** sound pressure, experiment, force, machine, noise.

**Введение.** Целью представленной работы является установление взаимосвязи касательной составляющей силы резания и образующегося звукового давления при фрезеровании древесины сосны.

Задачи работы:

1) провести анализ использования звукового давления в инженерии;

2) определить пути работы со звуковым давлением при эксплуатации деревообрабатывающего оборудования;

3) разработать сетку опытов по определению взаимосвязи между звуковым давлением и касательной силой резания при фрезеровании сосны;

4) провести предварительные исследования.

**Основная часть.** Звук – физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твердой, жидкой или газообразной среде.

Как и любая волна, звук характеризуется *амплитудой* и *частотой*. Амплитуда характеризует громкость звука. Частота определяет тон, высоту. Обычный человек способен слышать звуковые колебания в диапазоне частот от 16–20 Гц до 15–20 кГц [1]. Звук ниже диапазо-

на слышимости человека называют инфразвуком; выше: до 1 ГГц – ультразвуком, от 1 ГГц – гиперзвуком (рис. 1). Громкость звука сложным образом зависит от эффективного звукового давления, частоты и формы колебаний, а высота звука – не только от частоты, но и от величины звукового давления [2].

Инфразвук – звуковые волны, имеющие частоту ниже воспринимаемой человеческим ухом.

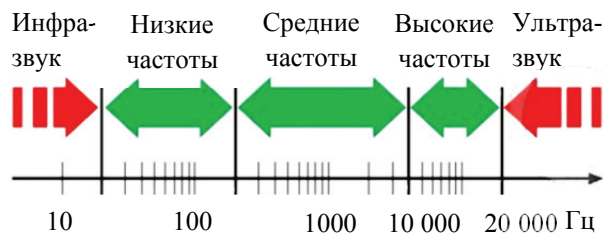


Рис. 1. Диапазон звуковых колебаний

Инфразвук оказывает большое влияние на здоровье человека и животных. По этой причине его используют как для лечения организмов, так и для причинения ему вреда (производство оружия).



Ультразвук – звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемой человеческим ухом (выше 20 000 Гц).

Ультразвук используют в эхолокации, при неразрушающем контроле деталей, для смешивания и разделения неоднородных веществ.

Работу со звуком в деревообрабатывающей промышленности можно организовать по двум направлениям:

1) борьба с ним с целью устранения его влияния на здоровье человека (использование звукопоглощающих материалов, борьба с источниками его возникновения и т. д.) [3];

2) использование в научных целях для исследования быстропротекающих процессов (например, при изучении сил резания древесины и древесных материалов).

Как и любое явление, звук можно использовать непосредственно для деления древесины и древесных материалов. Развитие данной технологии во многом позволит усовершенствовать сам процесс механической обработки древесины и, возможно, отказаться в перспективе от использования дереворежущего инструмента. Например, уже существуют технологии ультразвуковой резки резины и тканей [4].

По первому направлению разработаны различные нормативные документы, ограничивающие параметры звука в местах нахождения людей (в том числе на рабочих местах около оборудования) [5, 6].

Второе направление является интересным с точки зрения науки и перспективным инструментом для исследования различных быстропротекающих процессов, способных оказывать влияние на изменение звукового давления.

Разделение древесных материалов инструментом при механической обработке древесины может оказывать воздействие на формирование звуковых волн, которые можно использовать в корыстных целях. Установление влияния сил резания на формирование звукового давления и является основной задачей предстоящих исследований, которые проводятся на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (БГТУ).

На рис. 2 представлен способ измерения звуковых волн при резании древесины.

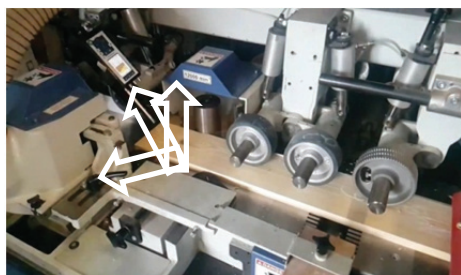


Рис. 2. Способ измерения звуковых волн (обозначены стрелками) при резании древесины

С этой целью закуплен прибор с микрофоном, а также специальное программное обеспечение для выполнения анализа получаемых данных (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид прибора ЭКОФИЗИКА 110А с программным обеспечением

В настоящей работе производился анализ влияния скорости взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом и частоты вращения привода станка Unimat 23EL (рис. 4) на звуковое давление по октавным полосам с одновременным изучением программного пакета для анализа получаемых данных.



Рис. 4. Экспериментальная установка Unimat 23EL

Переменным фактором эксперимента является частота вращения привода второго вертикального шпинделя экспериментальной уста-

новки, которая создана на базе станка Unimat 23EL и широко используется на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (БГТУ) [7].

Постоянные факторы эксперимента:  
диаметр фрезы  $D = 92,5$  мм;  
припуск на обработку  $h = 5$  мм;  
количество ножей  $z = 2$ ;  
ширина обработки  $b = 25$  мм;  
обрабатываемый материал – сосна ( $W = 12\%$ );  
скорость подачи  $V_s = 12$  м/мин.

Измеряемые параметры:

1) звуковое давление  $p$ , Па, по октавным полосам с использованием прибора ЭКОФИ-ЗИКА 110А;

2) мощность фрезерования  $P$ , Вт, снимаемая с двигателя привода станка Unimat 23EL.

Частоту взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом  $f$ , Гц, определяем по зависимости (1):

$$f = z \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (1)$$

где  $n$  – частота вращения шпинделя станка,  $\text{мин}^{-1}$ .

Касательную составляющую силы резания  $F_k$ , Н, определяем по зависимости (2):

$$F_k = \frac{\Delta P \cdot \eta}{V}, \quad (2)$$

где  $\Delta P$  – разность мощности рабочего и холостого ходов, Вт;  $\eta$  – КПД привода станка Unimat 23EL ( $\eta = 0,96$ );  $V$  – скорость резания, м/с.

Данные измерения звукового давления заносим в табл. 1, а мощности – в табл. 2.

Наибольший интерес, с точки зрения решения поставленной задачи, представляет увеличение звукового давления (при обработке материала) на частоте взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом  $\Delta p_f$ , Па.

Таблица 1

Результаты измерения звукового давления

$n$ , $\text{мин}^{-1}$ ( $V$ , м/с)	Режим работы	Давление, дБ (по октавным полосам, Гц)											
		315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
2000 (9,7)	Холостой ход	SLOW	57,4	63,6	62,3	61,1	59,2	54,8	55,5	58,4	56,5	62,0	53,6
		FAST	58,1	64,2	63,0	62,0	59,9	55,4	56,0	58,7	56,9	63,0	54,2
	Рабочий ход	SLOW	70,8	71,8	77,4	77,8	80,6	81,4	85,5	87,2	87,7	88,6	92,4
		FAST	72,4	73,4	79,1	79,9	81,7	82,6	87,1	89,1	89,3	89,7	93,3
4000 (19,4)	Холостой ход	SLOW	64,5	66,7	66,7	70,8	75,4	68,1	61,8	62,9	63,1	63,9	62,6
		FAST	65,2	67,6	67,4	71,6	76,4	69,0	62,3	63,4	63,4	64,5	63,1
	Рабочий ход	SLOW	69,4	74,4	77,9	78,7	82,7	83,2	85,7	85,5	87,8	95,1	93,2
		FAST	70,0	73,7	78,1	79,6	83,0	83,3	87,0	84,6	88,1	96,7	93,5
8000 (38,8)	Холостой ход	SLOW	82,0	77,7	88,6	79,6	79,4	78,0	79,6	81,1	76,0	75,7	77,0
		FAST	82,3	78,4	89,1	80,3	80,0	78,6	80,0	81,5	76,4	76,1	77,4
	Рабочий ход	SLOW	81,7	82,8	89,2	84,1	82,9	83,7	87,5	87,2	89,0	91,6	96,5
		FAST	82,1	83,5	89,9	85,0	83,6	84,6	88,4	88,0	90,0	93,2	98,2
12 000 (58,1)	Холостой ход	SLOW	85,1	111,1	85,4	86,1	94,6	88,5	91,5	88,2	87,7	87,6	88,4
		FAST	85,8	111,2	86,0	86,6	94,8	89,1	92,0	88,7	88,1	88,0	88,8
	Рабочий ход	SLOW	85,2	110,5	85,6	89,0	94,5	90,6	93,6	92,4	92,4	92,2	93,0
		FAST	86,4	110,4	86,6	90,3	95,0	91,7	94,8	93,6	93,6	93,5	94,2

Таблица 2

Результаты измерения мощности

$n$ , $\text{мин}^{-1}$ ( $V$ , м/с)	Режим работы	$P$ , кВт	$F_k$ , Н	$f$ , Гц	$p_f$ , Па	$\Delta p_f$ , Па
2000 (9,7)	Холостой ход	0,16	16,49	418,7	64,2	9,2
	Рабочий ход	0,32			73,4	
4000 (19,4)	Холостой ход	0,37	18,04	837,3	76,4	6,6
	Рабочий ход	0,72			83	
8000 (38,8)	Холостой ход	1,23	12,37	1674,7	81,5	6,5
	Рабочий ход	1,71			88	
12 000 (58,1)	Холостой ход	1,55	13,43	2512	88	5,5
	Рабочий ход	2,33			93,5	

С целью установления взаимосвязи касательной составляющей силы резания и образующегося звукового давления при фрезеровании сосны наиболее актуально будет нахождение коэффициента  $K$ , Н/Па, который на основании данных табл. 2 можно выразить зависимостью (3):

$$K = \frac{F_k}{\Delta p_f}. \quad (3)$$

В зависимости от скорости взаимодействия с использованием методов интерполяции можно определить зависимость коэффициента  $K$  от скорости резания, т. е. нахождения  $K = f(V)$ .

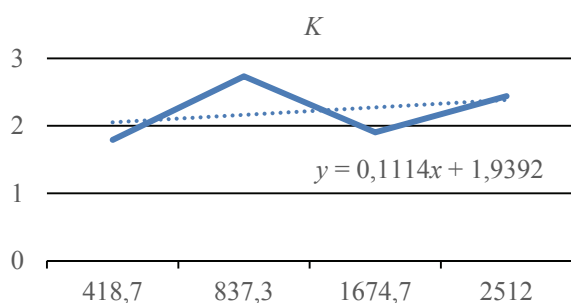


Рис. 5. График зависимости коэффициента  $K$  от частоты взаимодействия ножа с материалом

Данная зависимость может представлять интерес с точки зрения нахождения взаимосвязи звукового давления и частоты взаимодействия от быстротечности протекаемых процессов.

**Заключение.** Выполнен анализ возможностей работы со звуковым давлением при эксплуатации деревообрабатывающего оборудования, выраженной с одной стороны устранением влияния звукового давления на обслуживающий персонал, с другой – использованием в исследовательских целях для изучения процессов резания древесины.

С целью установления взаимосвязи касательной составляющей силы резания и образующегося звукового давления при фрезеровании сосны предложено использовать коэффициент  $K$ , Н/Па. Эксперименты на представленных выше режимах показали устойчивую зависимость между ростом давления воздуха на частоте взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом и касательной составляющей силы резания (коэффициент  $K$  практически не изменяется).

Разработана сетка опытов для нахождения коэффициента  $K$  и его дальнейшего анализа с целью косвенного определения сил резания при изучении процессов обработки древесины.

### Литература

1. Радзишевский А. Ю. Основы аналогового и цифрового звука. М.: Изд-во Вильямс, 2006. 288 с.
2. Звук // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. СПб., 1890–1907. Т. 1. 480 с.
3. Гаранин В. Н., Зыков И. А. Разработка мероприятий по снижению уровня шума в лесопильном цеху // Тезисы докладов 82-й науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 27 апр. 2018 г. / БГТУ. Минск, 2018. С. 73–74.
4. Ультразвуковое оборудование для резки материалов на пьезокерамических преобразователях [Электронный ресурс] / ООО «УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНИКА». URL: <http://www.petsonic.ru/uzo-08-01-00.shtml> (дата обращения: 05.03.2019).
5. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.003–83. Введ. 01.07.1984. М.: Изд-во стандартов, 1983. 12 с.
6. Система стандартов безопасности труда. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях: ГОСТ 12.1.036–81. Введ. 01.07.1982. М.: Изд-во стандартов, 1981. 4 с.
7. Влияние ионно-лучевого азотирования дереворежущего инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали, на период его стойкости / А. В. Белый [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 266–269.

### References

1. Radzishvskiy A. Yu. *Osnovy analogovogo i tsifrovogo zvuka* [Basics of analog and digital sound]. Moscow, Izd-vo Williams Publ., 2006. 288 p.
2. Sound. *Entsiklopedicheskiy slovar' Brokgauza i Yefrona* [Encyclopedic dictionary Brockhaus and Efron]. St. Petersburg, 1890–1907. Vol. 1. 480 p.
3. Garanin V. N., Zykov I. A. *Development of measures to reduce noise in the sawmill. Tezisy dokladov 82-j nauchno-tekhnicheskoy konferentsii BGTU* [Abstracts of the 82nd scientific and technical conference at BSTU]. Minsk, 2018, pp. 73–74 (In Russian).
4. *Ul'trazvukovoye oborudovaniye dlya rezki materialov na p'yezokeramicheskikh preobrazovatelyakh* [Ultrasonic equipment for cutting materials on piezoceramic transducers]. Available at: <http://www.petsonic.ru/uzo-08-01-00.shtml> (accessed 05.03.2019).

5. GOST 12.1.003–83. The system of labor safety standards. Noise. General safety requirements. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1983. 12 p. (In Russian).

6. GOST 12.1.036–81. The system of labor safety standards. Noise. Permissible levels in residential and public buildings. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1981. 4 p. (In Russian).

7. Belyy A. V., Anikeenko A. F., Grishkevich A. A., Garanin V. N. The influence ion-beam nitriding of woodworking tools, made of high speed steel, for the period of its resistance. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forestry and Woodworking Industry, pp. 266–269 (In Russian).

#### **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: dosy@belstu.by

**Болочко Дмитрий Леонидович** – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

#### **Information about the authors**

**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 Dmitry Leonidovich** – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

*Поступила 14.03.2019*

УДК 674.055:621.95

**А. Ф. Аникеенко, Т. А. Машорипова**

Белорусский государственный технологический университет

**НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ СВЕРЛА СБОРНОГО  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

Статья описывает необходимость создания новой конструкции сверлильного инструмента для сверления сквозных отверстий в ламинированных древесностружечных плитах. Проведен анализ рекомендуемых режимов сверления ламинированных древесностружечных плит. Рассмотрены дефекты при сверлении ламинированной древесностружечной плиты, связанные со свойствами основных слоев плитного материала. Обоснована необходимость в проектировании сборных сверл особой конструкции. Предложена новая конструкция сборных винтовых сверл, позволяющая механическим путем изменять скорость подачи непосредственно во время обработки ламинированной древесностружечной плиты, тем самым предотвращая появление сколов на поверхности хрупкого слоя (ламината) плиты.

**Ключевые слова:** конструкция, совершенствование, древесностружечная плита, сверление, сверло.

**A. F. Anikeenko, T. A. Mashoripova**

Belarusian State Technological University

**NEW DESIGN OF PRECAST DRILL  
FOR MACHINING OF LAMINATED CHIPBOARDS**

The article describes the need to create a new design of drilling tools for drilling through holes in laminated chipboards. The analysis of the recommended modes of drilling laminated chipboard. Considered defects when drilling laminated chipboard-related properties of the major layers of plate material. The necessity in the design of modular drills of special design. A new design of prefabricated screw drills is proposed, which allows mechanically changing the feed rate directly during the processing of laminated chipboard, thereby preventing the appearance of chips on the surface of the brittle layer (laminate) of the plate.

**Key words:** design, improvement, particle board, drilling, drill.

**Введение.** В производстве корпусной и офисной мебели широкое распространение нашли ламинированные древесностружечные плиты. Однако их обработка вызывает некоторые сложности. Можно выделить следующие основные проблемы:

- физико-механические свойства материала;
- отсутствие технологических режимов для обработки данного материала;
- отсутствие рекомендаций по геометрии режущего инструмента и его конструкции [1].

Важными характеристиками инструмента, влияющими на качество обработки силы и мощность резания, являются угол наклона винтовой канавки  $\epsilon$ , угол подъема винтовой канавки  $\tau$ , диаметр сверла  $D$  и угол при вершине  $2\varphi$  (рис. 1).

На процесс сверления древесины и древесных материалов оказывает влияние много факторов, среди которых можно выделить три основные группы: 1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства Л-ДСП); 2) факторы, относящиеся к режущему инструменту (геометрические параметры сверла, углы резания, марка стали и пр.);

3) режимы резания или обработки (скорость главного движения, скорость подачи).

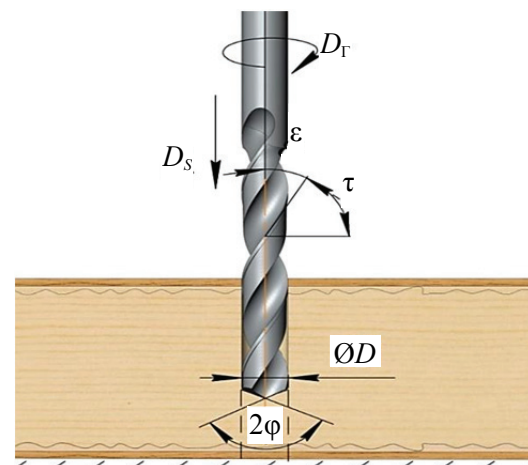


Рис. 1. Схема обработки сверлением

**Основная часть.** В современной древесностружечной плите (рис. 2) выделяют три основных слоя: ламинат, покрывающий поверхность плиты, некоторое количество связующего и непосредственно сама плита [2].

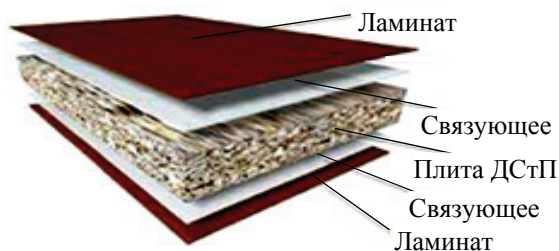


Рис. 2. Структура плиты

Вторым этапом обработки является слой связующего, но он настолько мал, что им можно пренебречь. После него нужно обрабатывать саму плиту, которая имеет градиент плотности по толщине (более плотные слои у поверхности плиты и менее плотные в середине). В отличие от ламината этот слой более рыхлый и менее твердый, и для его обработки логично было бы выбрать технологические режимы с высокой скоростью подачи, чтобы обеспечить наибольшую производительность. И если материал ламинирован с двух сторон, а нужно получить сквозное отверстие, то опять возникает необходимость учитывать хрупкость материала на выходе сверла. В итоге процесс сверления ламинированной древесностружечной плиты можно разделить на несколько этапов, как показано на рис. 3.

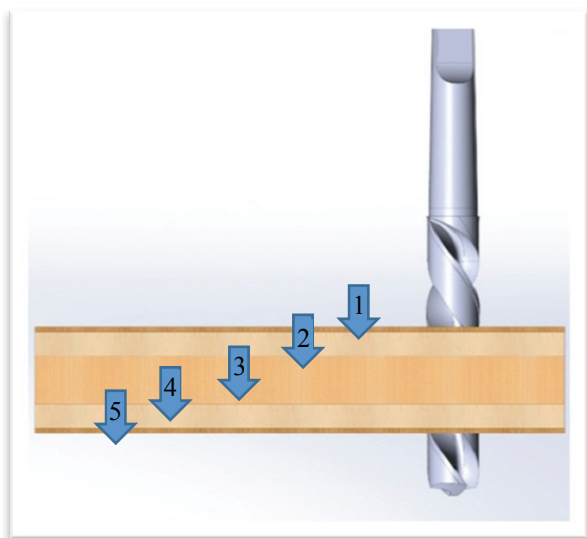


Рис. 3. Этапы сверления ДСтП

Исходя из вышесказанного, логично было бы изменять технологические режимы на каждом этапе обработки, тогда было бы можно добиться и высокого качества продукции без брака, и высокой производительности.

В случае использования обрабатывающих центров с числовым программным управлением оператор в состоянии принудительно динамически изменить режимы в процессе работы, но это превращает полностью автоматизиро-

ванный процесс обработки на машинах с ЧПУ в подобие ручной обработки. Так как процесс зачастую происходит на значительном удалении от оператора, то в рамках серийного производства осуществить такого рода принудительное изменение технологических режимов практически невозможно. Логичным выходом из ситуации было бы изменение управляющей программы, но не все модели станков с ЧПУ позволяют изменять эти параметры поставляемым программным обеспечением. В программе реализована возможность настраивать значения требуемых переменных факторов, за исключением толщины стружки, которая изменялась косвенно через значение скорости подачи  $V_s$ . Получение выходных данных и их обработка осуществляется с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 4

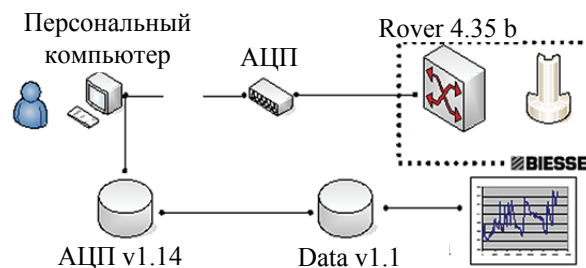


Рис. 4. Принципиальная схема экспериментальной установки

АЦП позволяет с точностью  $\pm 5$  Вт регистрировать в реальном режиме времени энергозатраты процесса.

На большинстве предприятий, к сожалению, у преобладающего числа многошпиндельных сверлильных станков нет возможности изменять технологические параметры динамически непосредственно в процессе сверления, что делает невозможным использование такого подхода.

Обработка древесины и древесных материалов методом сверления остается значимым технологическим процессом в столярно-строительном и мебельном производствах. Существуют различные методики проведения экспериментов по изучению свойств дереворежущего инструмента [2]. Но большинство из них охватывает не более одного исследуемого варьируемого параметра, влияющего на интересующий нас показатель – качество обработанной поверхности.

Все факторы, оказывающие существенное влияние на процесс обработки ламинированной древесностружечной плиты адаптивным инструментом, разделяются на две группы: постоянные и переменные.

Переменные факторы, относящиеся к обрабатываемому материалу, по своим разнообразию и сочетаниям требуют значительных затрат. Например, при изготовлении древесностружечных плит возможно содержание связующего от 4 до 12%. Изучение влияния такого фактора требует создания специальной лабораторной установки для изготовления образцов древесностружечных плит, что практически не осуществимо вследствие сложности выполнения технологических требований получения данного древесного материала.

При сверлении древесных материалов наиболее распространенной формой режущей части сверла является заточка с подрезателями и направляющим центром. При такой заточке сверло имеет пять режущих элементов: две главные режущие кромки, два подрезателя и направляющий центр. Гораздо реже применяют коническую заточку, когда сверло имеет две режущие кромки, наклоненные под углом  $\varphi$  к оси вращения.

Наибольшее влияние на усилие резания оказывают угловые параметры главной режущей кромки – угол резания  $\delta$  и задний угол  $\alpha$ . Направляющий центр, назначение которого – повысить точность сверления, и подрезатели, улучшающие качество сверления, характеризуются в основном высотой над главной режущей кромкой. Изменение углов резания главной режущей кромки оказывает влияние только на силовые показатели процесса сверления, так как качество сверления зависит только от боковых режущих элементов сверла [3].

**Задний угол.** Если увеличивать значение заднего угла, оставляя постоянным угол резания, то  $M_{кр}$  и  $P_{ос}$  уменьшаются, причем осевое усилие снижается сильнее, чем крутящий момент (рис. 5, а). Увеличение заднего угла до  $25^\circ$  при  $\delta = 45^\circ$  дает угол заточки всего в  $20^\circ$ , при этом в связи с уменьшением прочности реза происходит некоторое вибрирование последнего, что вызывает повышение  $M_{кр}$  и  $P_{ос}$ . Наименьшие абсолютные значения и темпы роста усилий резания наблюдаются при значениях угла  $\alpha = 18\text{--}25^\circ$ .

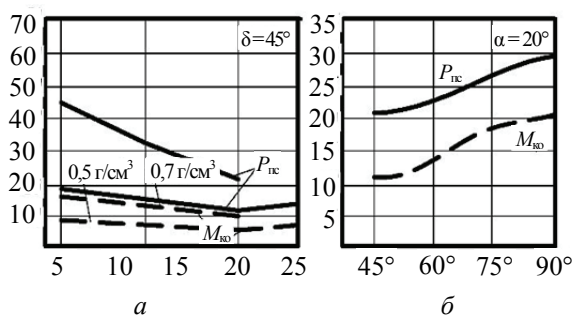


Рис. 5 Зависимость осевого усилия и крутящего момента от угловых параметров сверла: а – от заднего угла; б – от угла резания

**Угол резания.** С увеличением угла резания крутящий момент и осевое усилие растут во всех случаях (рис. 5, б), причем  $M_{кр}$  растет в большей степени, чем  $P_{ос}$ . Наименьшие абсолютные значения и темпы роста усилий резания наблюдаются при значениях углов  $\delta = 45\text{--}60^\circ$  [3].

При увеличении числа оборотов (от 1500 до 4550  $\text{мин}^{-1}$ ) происходит незначительное падение  $M_{кр}$  и  $P_{ос}$  при постоянно подаче на резец. Поскольку толщина стружки остается постоянной, то и силы резания мало отличаются друг от друга. При данных значениях чисел оборотов и средних диаметров (10–15 мм) получается скорость резания 0,8–3,0 м/с. При увеличении скорости резания в этом диапазоне не изменяется существенно процесс перерезания древесных частиц.

Число оборотов сверла влияет на температурный режим сверления, т. е. при большом числе оборотов возможен перегрев и даже прижигание стенок отверстия. Это нежелательно, так как снижает износостойкость инструмента и ухудшает качество сверления. Специальные исследования показали, что с этой точки зрения наилучшим числом оборотов является 2880  $\text{мин}^{-1}$  [3].

**Подача на резец.** С увеличением подачи на резец (от 0,125 до 0,750 мм) увеличивается толщина стружки, а следовательно, и сопротивление резанию, что вызывает рост  $M_{кр}$  и  $P_{ос}$ . Рост  $M_{кр}$  происходит по линейной зависимости. Рост осевого усилия неравномерен [4].

**Диаметр сверла.** С увеличением диаметра сверла в диапазоне от 7,5 до 20,0 мм происходит рост крутящего момента и осевого усилия по зависимости, близкой к кривой второго порядка. Характер зависимости  $M_{кр}$  и  $P_{ос}$  от диаметра не меняется при сверлении плит с различными объемными весами и содержанием связующего при работе с разными подачами на резец.

**Форма заточки режущей части сверла.** При сверлении как в кромку, так и в плоть плиты сверло с конической заточкой дает большие усилия резания, чем сверло с подрезателями и направляющим центром. В последнем случае главная режущая кромка перпендикулярна продольной оси сверла и угол  $\varphi = 90^\circ$ , а при конической заточке угол  $\varphi = 60, 45^\circ$  и т. д. Уменьшение угла  $\varphi$  приводит к уменьшению заднего угла в плоскости, нормальной к режущей кромке, вызывая рост усилий сверления. При сверлении в плоть рост сил происходит и от увеличения угла встречи с волокнами древесных частиц [3].

В связи с тем что все три слоя отличаются физико-механическими свойствами, возникает необходимость использовать технологические режимы, удовлетворяющие качественной обработке всех трех слоев одновременно. Наиболее сложно выбрать технологические режимы для обработки хрупкого и очень твердого ламината

с двух сторон рассматриваемого материала. Неправильно выбранный режим обработки приводит к появлению сколов (рис. 6), что недопустимо. Использование небольших скоростей подачи и большей частоты вращения сверла позволяет избавиться от такого рода брака, но негативно сказывается на производительности оборудования, на периоде стойкости инструмента и на энергопотреблении [5].



Рис. 6. Сколы на поверхности ДСП

В связи с этим в данной работе было спроектировано сверло спиральное сборное (рис. 7). Конструкция данного сверла состоит из хвостовика, тела сверла и одной пружины с переменным шагом. Это сверло позволит, имея систему упругих элементов, с переменной шагом обрабатывать древесностружечные плиты, в том числе и ламинированные, исключая возможность появления сколов на входе и выходе инструмента. Дело в том, что коэффициент жесткости пружины с переменным шагом увеличивается с увеличением нагрузки, что повышает надежность и увеличивает срок ее службы. Применение сверл данного типа в первую очередь позволит улучшить качество обработанной поверхности, а также увеличить

стойкость сверл за счет уменьшения скорости подачи. Применение такого типа сверл также экономически выгодно, так как закупается только тело сверла, а хвостовики остаются прежние.

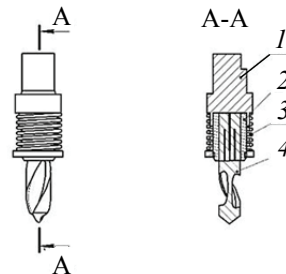


Рис. 7. Прототип сверла спирального сборного:

1 – хвостовик; 2 – патрон;  
3 – упругий элемент; 4 – сверло

Упругий элемент в момент соприкосновения режущей части сверла с обрабатываемым материалом сжимается и тем самым уменьшает скорость подачи. Далее сверло работает как обычное. При увеличении нагрузки на пружину, в момент когда процесс сверления завершается, чаще расположенные витки начинают смыкаться. При этом число работающих витков уменьшается и, соответственно, пружина становится жестче.

**Заключение.** Использование данного типа инструмента при сверлении плитных материалов позволит в значительной мере сократить количество брака, увеличить производительность вместе со снижением энергопотребления. Предполагаемая стоимость изготовления подобного сверла при серийном производстве значительно меньше затрат на устранение брака или модернизацию используемого оборудования.

### Литература

1. Волынский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учеб.-справ. пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2010. 336 с.
2. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1966. 176 с.
3. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1966. 94 с.
4. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Лесная промышленность, 1986. 296 с.
5. Аникеенко А. Ф., Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Влияние элементов режима сверления ламинированных древесностружечных плит на качество поверхности // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 391–394

### References

1. Volynski V. N. *Tehnologiya drevesnykh plit i kompozitnykh materialov* [Board technology and composite materials]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 336 p.
2. Bershadski A. L. *Raschet rezhimov rezaniya drevesiny* [Computation of cutting wood]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1966. 176 p.



3. Tsukanov Yu. A., Amalytskiy V. V. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov* [Chipboard cutting]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 94 p.

4. Lyubchenko V. I. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting wood and wood material]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986. 296 p.

5. Anikeenko A. F., Grishkevich A. A., Garanin V. N. The influence of the elements of the mode of drilling laminated chipboard on the surface quality. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2017, no. 2 (198), pp. 391–394 (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**Аникеенко Андрей Федорович** – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 19, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

**Машорипова Татьяна Александровна** – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: 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 (19, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

**Mashoripova Tatiana Aleksandrovna** – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

*Поступила 14.03.2019*

УДК 674.055:621.95

**А. А. Гришкевич, С. А. Гриневич, Г. В. Алифировец**  
Белорусский государственный технологический университет

### **НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ АДАПТИВНОЙ ФРЕЗЫ СБОРНОЙ ДЛЯ ПРОФИЛЯТОРОВ ЛИНИЙ АГРЕГАТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ**

В данной статье представлена конструкция цилиндрической насадной фрезы для профилирующих узлов линий агрегатной переработки древесины, позволяющая плавно регулировать угловые параметры режущего инструмента.

Развитие методов переработки пиловочного сырья с одновременным получением бруса и технологической щепы привело к созданию разнообразных конструкций фрезерного инструмента. Основная отличительная особенность фрез для лесопиления состоит в том, что все фрезы имеют значительные размеры и представляют собой сборные конструкции.

Профилирование представляет собой дополнительную технологическую операцию механической обработки двух или четырехкантных брусьев цилиндрическими фрезами с целью придания им ступенчатой формы. Это существенно упрощает процесс дальнейшей переработки древесины, и последующая распиловка ступенчатого бруса позволяет получить обрезные материалы без применения круглопильных обрезных станков. Конструкция инструмента, параметры его режущих элементов определяют качество и выход продукции, производительность и энергетические затраты на переработку древесины. Авторами предложена конструкция фрезы для профилирующих узлов, позволяющая управлять процессом резания и оптимизировать угловые параметры инструмента с учетом породы древесины, предъявляемых требований к качеству бруса и фракционного состава технологической щепы.

**Ключевые слова:** фрезерование, фреза, профилирование, силы резания, угловые параметры.

**A. A. Grischkevich, S. A. Grinevich, G. V. Alifirovets**  
Belarusian State Technological University

### **THE NEW DESIGN OF THE ADAPTIVE MILL FOR PROFILERS OF AGGREGATE PROCESSING LINES**

This article presents the design of a cylindrical nozzle mill for profiling units of lines of wood aggregate processing, which allows to smoothly adjust the angular parameters of the cutting tool.

The development of methods for processing sawn raw materials while obtaining timber and technological chips led to the creation of a variety of milling tool designs. The main distinctive feature of mills for sawmilling is that all mills have the considerable sizes and represent combined designs.

Profiling is an additional technological operation of mechanical processing of two or four-channel bars with cylindrical cutters for the purpose of applying them to a step shape. This greatly simplifies the process of further processing of wood, and the subsequent sawing of step timber allows to obtain edged materials without the use of circular saw cutting machines. The design of the tool, the parameters of its cutting elements determine the quality and yield of products, productivity and energy costs for wood processing. The authors propose the design of the cutter for profiling units, which allows to control the cutting process and optimize the angular parameters of the tool taking into account the wood species, the requirements for the quality of timber and fractional composition of the technological chips.

**Key words:** milling, milling, profiling, cutting forces, angular parameters.

**Введение.** На сегодняшний день актуальной задачей в лесной и деревообрабатывающей промышленности является обеспечение более глубокой переработки древесины, снижение количества потерь древесины в стружку, повышение эффективности использования оборудования. Наиболее перспективным направлением решения поставленных задач считается использование технологии агрегатной переработки древесины. Основным оборудованием для агрегатной переработки древесины являются фрезерно-брусующие станки. Назначение фрезерно-брусующих станков – комплексная

обработка бревна путем переработки удаляемой части в технологическую щепу. Достоинства фрезерно-брусующих станков заключается в простоте конструкции, надежности и высокой производительности.

В настоящее время на многих крупных предприятиях лесной и деревообрабатывающей отрасли Республики Беларусь установлены линии агрегатной переработки древесины, в состав которых входят брусующие и профилирующие узлы. Линии агрегатной переработки древесины состоят из нескольких узлов. Как правило, узел первого прохода предназначен

для обработки окоренного бревна путем фрезерования горбыльной части с целью получения полубруса, технологической щепы и поворота полубруса вокруг своей оси на  $90^\circ$ . Узел второго прохода предназначен для фрезерования, профилирования и пиления полубруса. После обработки полубруса в узле второго прохода образуется брус и две боковые доски. Профилирование пиломатериалов представляет собой процесс механической обработки двух или четырехкантных брусьев цилиндрическими фрезами с целью придания им ступенчатой формы, что в дальнейшем упрощает процесс переработки. Последующая распиловка ступенчатого бруса многопильным круглопильным станком позволяет получить обрезные пиломатериалы без применения специализированного оборудования (обрезных станков и рубительных машин), что значительно уменьшает энергоемкость процесса получения пиломатериалов и технологической щепы.

Профиляторы представляют собой фрезерные агрегаты, расположенные с двух сторон перерабатываемого материала и формирующие ступенчатую поверхность методом продольноторцевого цилиндрического полузакрытого фрезерования.

**Основная часть.** Целью работы является разработка конструкции режущего инструмента для профилирующих машин агрегатной переработки древесины с целью снижения энергозатрат на процесс фрезерования.

Технологическое оборудование лесопильного завода ОАО «Борисовский ДОК» предназначено для комплексной переработки пиловочных бревен диаметром 10–34 см (в вершинном срезе бревна) со скоростью до 45 м/мин.

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, 2, 3].

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, скалывание 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 (Германия) (рис. 1), в состав которой входит фрезерно-пильный станок VPS (рис. 2).

Режущим инструментом фрезерно-пильной машины VPS 22 являются плоские ножи (рис. 3).

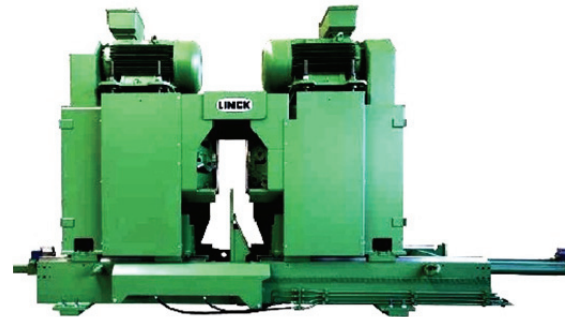


Рис. 1. Фрезерно-брусующая линия LINCK



Рис. 2. Фрезерно-пильный станок VPS

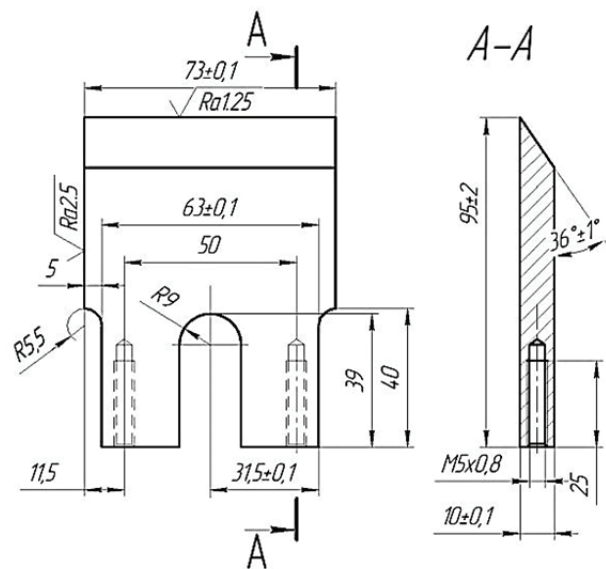


Рис. 3. Плоский нож

Углы резания и осевой угол приводят к уменьшению силы и мощности резания [4, 5].

На рис. 4 приведен натуральный образец фрезы сборной.

На рис. 5 показана возможность изменения угловых параметров фрезы.



Рис. 4. Натурный образец фрезы сборной



Рис. 5. Изменения угловых параметров фрезы

**Заключение.** Сотрудниками кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ разработана конструкция сборной насадной фрезы для профилирующих узлов линий агрегатной переработки древесины. Предложенный инструмент имеет возможность изменять угловые параметры,

а его размеры соответствуют размерам фрез современных фрезерно-брусующих линий. Фреза позволяет адаптировать параметры процесса резания в зависимости от породы обрабатываемой древесины, требований к качеству пилопродукции и фракционного состава щепы.

#### 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. 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. Фреза с изменяемыми угловыми параметрами: пат. № 11088, Респ. Беларусь / Белый А. В., Гришкевич А. А., Гаранин В. Н.; заявл. 04.08.2015, зарег. в Гос. реестре полезных моделей 01.04.2016, дата начала действия 04.08.2015.
4. Гришкевич А. А., Вихренко В. С., Гаранин В. Н. Особенности расчета сопрягаемых поверхностей рефлекторного фрезерного инструмента // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Междунар. Евразийского симпозиума, Екатеринбург, 22–25 сент. 2015 г. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2015. С. 149–156.
5. Адаптивный фрезерный инструмент и условие устойчивой его работы / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. С. 275–280.

#### References

1. Rapovets V. V. *Kompleksnaya obrabotka drevesiny frezami so spiral'nym raspolozheniem sbornykh dvukhlezviynykh nozhey, obespechivayushchaya kachestvo produktsii i snizhenie energozatrat: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Complex wood processing with mills with a spiral arrangement of two-blade

prefab knives, ensuring product quality and reducing energy consumption: Dis. PhD (Engineering)]. Minsk, 2011. 187 p.

2. Borovikov E. M., Fefilov L. A., Shestakov V. V. *Lesopileniye na agregatnom oborudovanii* [Sawmilling on aggregate equipment]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 216 p.

3. Belyy A. V., Grishkevich A. A., Garanin V. N. *Freza s izmenyaemyimi uglovymi parametrami* [Mill with variable angular parameters]: Pat. BY, no. 11088, 2015.

4. Grishkevich A. A., Vikhrenko V. S., Garanin V. N. Features of the calculation of the mating surfaces of the reflex milling tool. *Trudy X Mezhdunar. Evraziyskogo simpoziuma "Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka* [Proceedings of the X Intern. Eurasian Symposium "Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century"]. Ekaterinburg, 2015, pp. 149–156 (In Russian).

5. Grishkevich A. A., Vikhrenko V. S., Garanin V. N., Anikeenko A. F. Adaptive milling tool and the condition of its stable work. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 275–280 (In Russian).

### Информация об авторах

**Гришкевич Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

**Гриневич Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gres410a@ya.ru

**Алифировец Григорий Васильевич** – заведующий лабораторией кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alifirovez@tut.by

### Information about the authors

**Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

**Grinevich Sergey Anatol'yevich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gres410a@ya.ru

**Alifirovets Grigoriy Vasil'yevich** – head of laboratory, 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 14.03.2019

УДК 674.05:621.923.6

**А. А. Гришкевич, В. Н. Гаранин, Д. Л. Болочко**  
 Белорусский государственный технологический университет

### **УВЕЛИЧЕНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ НОЖЕЙ САМОЗАТАЧИВАНИЕМ ИХ ЛЕЗВИЙ**

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. Однако обеспечение качества и производительности оборудования с применением существующих инструментов связано с необходимостью использования разнообразного заточного оборудования, что приводит к дополнительным затратам на переподготовку инструмента.

Одним из направлений решения данной проблемы является придание режущим элементам инструмента эффекта самозатачивания. Применение такого инструмента позволит получать удовлетворительное качество обработки на всем жизненном пути режущих элементов без дополнительных затрат времени на переподготовку инструмента, что приведет к увеличению производительности оборудования.

**Ключевые слова:** лезвие, стойкость, самозатачивание, материал, схема.

**A. A. Grishkevish, V. N. Garanin, D. L. Bolochko**  
 Belarusian State Technological University

### **INCREASING THE PERIOD OF STABILITY OF KNIVES BY SELF SHARPENING OF THEIR BLADES**

Cutting of wood and wood materials with use of the blade tool is one of main types of processing at production of furniture, joiner's products, receiving spill and in other productions. However quality assurance and capacity of the equipment with use of the existing tools is connected with need of use of the various tool-grinding equipment that leads to additional costs of retraining of the tool.

One of the directions of the solution of this problem is giving to the cutting elements of the tool of effect of self-sharpening. Use of such tool will allow to receive satisfactory quality of processing on all course of life of the cutting elements without additional expenses of time for retraining of the tool that will lead to increase in capacity of the equipment.

**Key words:** edge, firmness, self-sharpening, material, scheme.

**Введение.** Увеличение ресурса работы режущих элементов дереворежущего инструмента от переточки до потери режущей способности является актуальной проблемой. На сегодняшний день существуют следующие способы увеличения периода стойкости инструмента: химико-термическая обработка, гальваническое нанесение износостойких покрытий, алмазная выглаживание, ультразвуковая поверхностная обработка пластическим деформированием, лазерная упрочняющая обработка и др. [1].

Но представленные методы требуют применения разнообразного оборудования и не избавляют от необходимости в переподготовке лезвий инструмента. Таким образом, в данной работе ставится цель увеличить период стойкости лезвий дереворежущих инструментов, обеспечивающих постоянство остроты режущей кромки (самозатачивание). В работе решаются следующие задачи:

1) изучить возможные варианты увеличения периода стойкости режущих элементов инструментов. Произвести патентный и литературный обзор по теме работы;

2) предложить техническое решение конструкции лезвия, обладающего эффектом самозатачивания;

3) сделать соответствующие выводы.

**Основная часть.** В процессе обработки на режущие элементы действуют силы, разрушающие режущую кромку лезвия. При перемещении стружки вверх по передней поверхности лезвия возникает сила трения, что приводит к износу передней грани режущих элементов. На заднюю поверхность ножа действуют силы упругого восстановления и деформирования древесины. В результате увеличивается переходная поверхность между передней и задней поверхностями лезвия, характеризующаяся увеличением радиуса округления режущей кромки лезвия [2].

С увеличением износа режущей кромки лезвия увеличивается ее радиус округления  $\rho$ , что приводит к потере режущей способности инструмента и, как следствие, к ухудшению качества обработки (рис. 1).

Из схемы видно, что радиус округления кромки увеличивается от  $\rho_1$  до  $\rho_n$  и стремится к бесконечности.

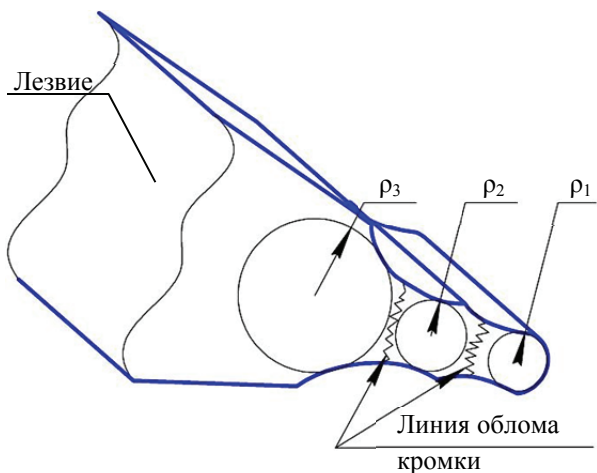


Рис. 1. Схема износа режущей кромки лезвия

В работе [3] представлено описание самозатачивающегося многослойного лезвия (рис. 2), которое состоит из внутреннего слоя 1, выполненного из твердого материала (например, карбид вольфрама), наружных слоев 2, 3 из алюминия, стали или другого материала, менее твердого, чем внутренний слой, и внешних слоев 4, 5 из еще более мягкого материала (например, дюралюминия).

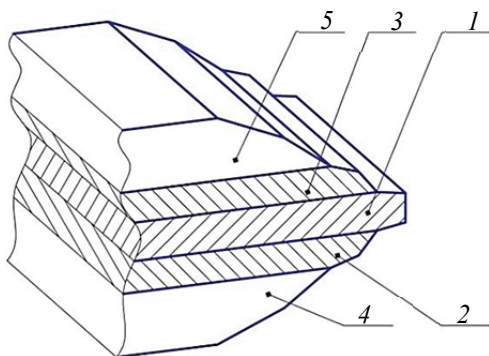


Рис. 2. Самозатачивающееся многослойное лезвие: 1 – внутренний слой; 2, 3 – наружные слои; 4, 5 – внешние слои

Но основной проблемой изготовления слоистых металлов из твердых сплавов является обеспечение их совместной защиты. При эксплуатации режущих многослойных инструментов на стыке разнородных металлов часто происходит расслаивание металла, в результате чего изделие получается некачественным и небезопасным.

Следует отметить, что в работе [3] не раскрыты следующие принципиальные вопросы, касающиеся кинематики резания и процесса самозатачивания лезвия:

- толщина центрального твердого слоя;
- характер износа наружных и внутренних слоев лезвия в процессе обработки материалов;

– точка и направления действия сил в процессе разрушения материала.

В работе [4] представлена конструкция лезвия с выемкой в форме канавки на режущей кромке (рис. 3), выполненной по биссектрисе угла лезвия по всей длине и заполненной материалом из нитрида, карбида или карбонитрида, тугоплавкого металла. Ширина выемки  $L$  составляет от 10 до 20 мкм, глубина  $H$  – от 0,02 до 100,00 мм, а лезвие состоит из слоев материалов с различной твердостью, расположенных в чередующемся порядке.

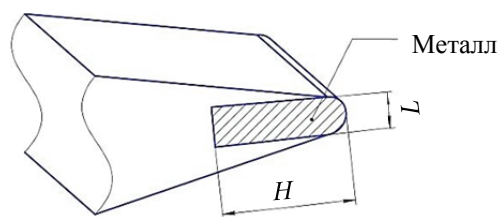


Рис. 3. Самозатачивающееся лезвие с выемкой

Такая конструкция лезвия позволяет образовывать режущую кромку, которая обладает эффектом замозатачивания. В процессе работы поверхностные слои лезвия изнашиваются быстрее, чем более износостойкий тугоплавкий материал выемки режущей кромки. Когда базовый материал лезвия стирается и не обеспечивает достаточную опору для всего материала выемки, микрочастицы выемки отрываются. После этого остается более тонкий материал на кромке лезвия, который выступает из базового материала и образует более острую режущую кромку. Непрерывный износ будет поддерживать остроту кромки: так как выемка с тугоплавким износостойким материалом выполнена по всей длине лезвия, то режущая кромка будет сплошной и будет обеспечивать качественную обработку вновь создаваемой поверхности (рис. 4) [4].

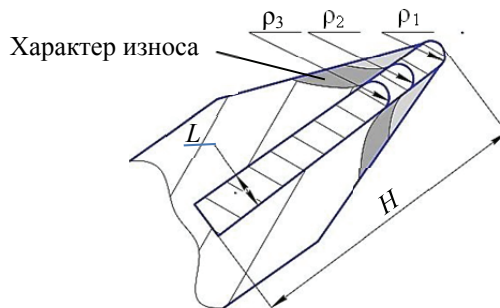


Рис. 4. Схема износа самозатачивающегося лезвия

Благодаря наличию вставки из твердого сплава радиус округления режущей кромки лезвия остается неизменным по мере износа лезвия, т. е.  $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$ . Это позволяет обес-

печить увеличение полного периода стойкости инструментов, способствует уменьшению мощности на резание и повышению качества обработанной поверхности, тем самым значительно расширяя возможности применения инструментов в производственной сфере [4].

В работе [5] приведены результаты эксперимента по изучению характера затупления лезвия (рис. 5).

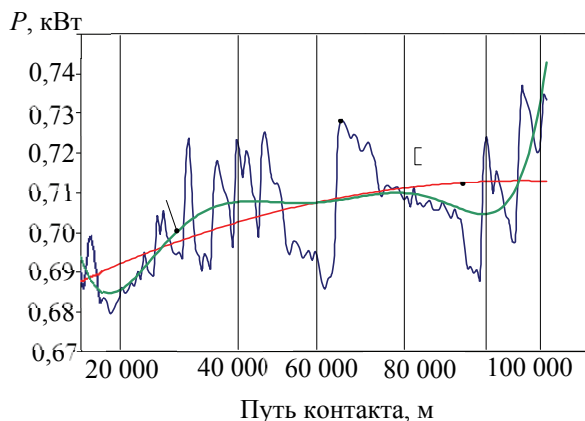


Рис. 5. Зависимость потребляемой мощности от пути контакта реза с обрабатываемым материалом

Такое явление износа объясняется следующим: при удалении материала с задней поверхности реза угол резания  $\beta$  уменьшается, а следовательно, и потребление мощности на резание также снизится. В дальнейшем наступает момент, когда начинает интенсивно разрушаться само лезвие, и мощность начинает увеличиваться.

С целью подтверждения теоретических данных планируется проведение экспериментальных исследований.

Для выполнения экспериментальных исследований будет использована установка, созданная на базе промышленного станка Unimat 23EL фирмы WEINIG (Германия).

### Литература

1. Зотов Г. А., Памфилов Е. А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с.
2. Бершадский А. Л. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
3. Rutter P. A. Self-sharpening, laminated cutting tool and method for making the tool. Patent US, no. 6,207,294 B1, 2001.
4. Самозатачивающееся лезвие: пат. № 20824, Респ. Беларусь / А. А. Гришкевич, В. В. Чаевский; заявл. 05.12.2013; опублик. 28.11.2016.
5. Аникеенко А. Ф., Гришкевич А. А. Методика проведения экспериментальных исследований по фрезерованию древесных плитных материалов на обрабатывающем центре с числовым программным управлением Rover B 4.35 // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 213–216.

### References

1. Zotov G. A., Pamfilov E. A. *Povysheniye stoykosti derevorezhushhego instrumenta* [Improving the durability of woodworking tools]. Moscow, Ecologiya Publ., 1991. 304 p.

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов спроектирована и изготовлена экспериментальная фреза с самозатачивающимися ножами (рис. 6).

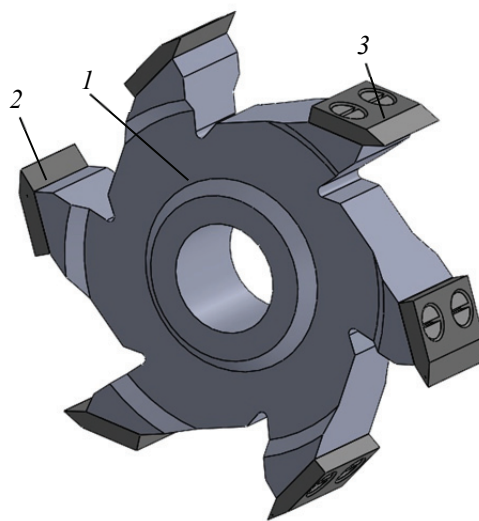


Рис. 6. Фреза с самозатачивающимися ножами:  
1 – корпус инструмента;  
2 – самозатачивающийся нож; 3 – винт

**Заключение.** Существующие конструкции лезвийного инструмента для обработки древесных материалов имеют переменный радиус округления (постоянно увеличивающийся до критических размеров), что является недостатком конструкций, приводящим к увеличению мощности резания и уменьшению производительности процесса. Критический радиус округления обусловлен качеством обработки.

Предложенное техническое решение дает возможность устранить вышеназванные недостатки за счет постоянства линейных размеров вершины режущей кромки (радиуса округления).

Для уточнения конструкции лезвия инструмента необходимо проведение лабораторных испытаний.



2. Bershadskiy A. L. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1975. 303 p.
3. Philip A. Rutter. Self-sharpening, laminated cutting tool and method for making the tool. Patent US, no. 6,207,294 B1, 2001.
4. Grishkevich A. A., Chayevskiy V. V. *Samozatachivayushcheyesya lezviye* [The self-sharpened edge]. Patent BY, no. 20824, 2016.
5. Anikeenko A. F., Grishkevich A. A. Methods of conducting experimental studies on milling of wood-based panel materials at the processing center with numerical programmed control of Rover B 4.35. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Series II, Forestry and Woodworking Industry, issue XV, pp. 213–216 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Гришкевич Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

**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** – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

#### Information about the authors

**Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

**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 Dmitry Leonidovich** – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

Поступила 14.03.2019

УДК 674.914:674.338

**И. К. Клепацкий, В. В. Раповец**

Белорусский государственный технологический университет

**ДИНАМИКА ПОТЕРИ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕЗВИЙ  
МАЛОНОЖЕВЫХ ФРЕЗ ПРИ АГРЕГАТНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

В статье рассмотрена динамика потери режущей способности малоножевых торцово-конических фрез при обработке древесины хвойных пород, ее специфика и проблематика.

Проведены экспериментальные исследования радиуса округления режущей кромки дерево-режущих ножей из легированной стали 40ХВ2С, эксплуатируемых на предприятии ОАО «Борисовский ДОК». Рассмотрены особенности фрезерования малоножевыми торцово-коническими фрезами. Проанализированы и предложены направления по улучшению показателей технологической стойкости дереворежущего инструмента, используемого на малоножевых фрезерно-брусующих станках деревообрабатывающих предприятий.

**Ключевые слова:** износ, динамика, лезвие, нож, агрегатная обработка, стойкость, эксперимент, фрезерно-брусующий станок.

**I. K. Klepatski, V. V. Rapovets**

Belarusian State Technological University

**DYNAMICS OF LOSS OF CUTTING ABILITY OF BLADES  
OF SMALL-CUTTER MILLS OF AGGREGATE PROCESSING OF WOOD**

The article deals with the dynamics of loss of cutting ability by small-blade butt-conical cutters in the processing of coniferous wood, its specificity and problematics.

Experimental studies of the radius of rounding of the cutting edge of wood-cutting knives made of 40HV2S alloy steel, operated at the “Borisovski DOK” enterprise, have been carried out. The features of milling with low-blade face-conical cutters are studied. Studied and proposed directions for improving the indicators of the technological stability of wood-cutting tools used on small-cutter mills of milling-canting machines of woodworking enterprises.

**Key words:** wear, dynamics, blade, knife, aggregate processing, durability, experiment, canter milling machine.

**Введение.** Согласно направлениям развития Республики Беларусь, утвержденным в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 23 февраля 2016 г. № 148, а также государственной программе «Белорусский лес» на 2016–2020 г. в деревообрабатывающем секторе основными вектором совершенствования использования возобновляемых ресурсов является повышение эффективности использования лесного фонда страны.

Действенным мероприятием по повышению эффективности лесопиления является комплексное использование древесного сырья путем переработки бревен с одновременным получением пилопродукции и технологической щепы, отвечающей требованиям действующих стандартов, посредством агрегатного метода [1].

Внедрение агрегатного метода переработки бревен привело к созданию практически безотходной технологии и высокопроизводительного оборудования. Такие методы обработки древесины наиболее технологичны и экономически оправданы. Из тонкомерной древесины (бревен)

целесообразно получать мелкую пилопродукцию, а оставшуюся горбыльную часть перерабатывать на технологическую щепу. На современных рубительных машинах из обзолной части бревен вырабатывают до 90% технологической щепы, пригодной для получения целлюлозы, но щепы от агрегатных установок также пригодна для этих целей почти полностью [2, 3].

Переработка древесины на таком типе оборудования имеет свою особенность – неравномерный износ режущей кромки ножей. Недостаточная изученность данного вопроса требует более углубленного анализа динамики износа лезвия инструмента, что позволит установить рациональные режимы эксплуатации малоножевых фрезерно-брусующих станков и определить рациональные методики увеличения технологической стойкости режущего инструмента.

**Основная часть.** Положительной особенностью малоножевых фрез (рис. 1) является простота их конструкции и сравнительно низкие затраты на подготовку и эксплуатацию режущего инструмента – ножей (рис. 2).

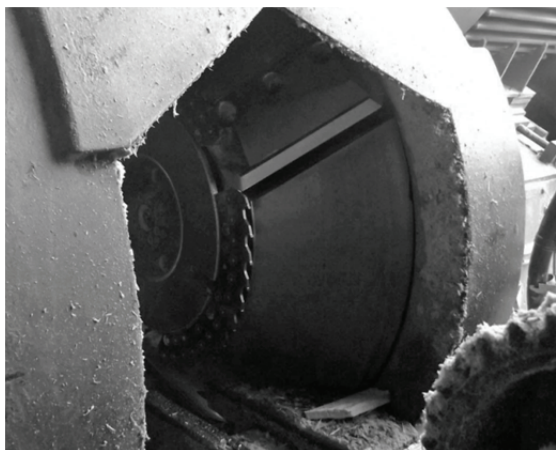


Рис. 1. Малоножевая торцово-коническая фреза фрезерно-брусующего станка



Рис. 2. Режущий инструмент малоножевой торцово-конической фрезы

Анализ конструкций аналогичного назначения позволил выделить следующие недостатки малоножевых торцово-конических фрез: отсутствие возможности получения фигурного бруса; конструкции малоножевых фрез не обеспечивают равномерность нагрузки и снижение максимальных сил резания за цикл обработки, что предъявляет повышенные требования к прочности режущего инструмента, снижает надежность конструкции узлов резания, а также качество технологической щепы. В некоторых случаях на торцах конических или цилиндрических фрез, на одной оси с ними в торцевой части корпуса закрепляют цельные пильные диски или сегменты. Они предварительно до его измельчения отпиливают горбыль. Пилы позволяют улучшить качество поверхности бруса и устранить боковые составляющие сил резания, возникающие при коническом фрезеровании древесины [4, 5].

Фрезерование малоножевыми торцово-коническими фрезами характеризуется тем, что лезвие ножа наклонено к оси вращения под углом  $\varphi_n$ . Переработка выполняется при подаче бревна между парой фрез, расположенных на одной оси вращения и совершающих вращательное движение с частотой  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$  (рис. 3) [6, 7].

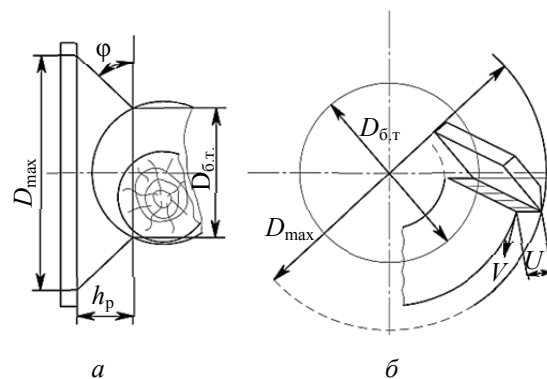


Рис. 3. Параметры фрезерования малоножевыми торцово-коническими фрезами:

$D_{\text{max}}$  – максимальный диаметр обработки;

$D_{\text{б.т}}$  – диаметр базового торца фрезы;

$\varphi$  – угол наклона ножа к оси вращения;  $h_p$  – ширина обработки;  $V$  – направление вектора скорости резания;

$U$  – толщина формируемого элемента щепы

В процессе резания древесины точки на режущей кромке ножа проходят различный путь резания. Это приводит к тому, что затупление кромки ножа носит неравномерный характер (рис. 4) [8].

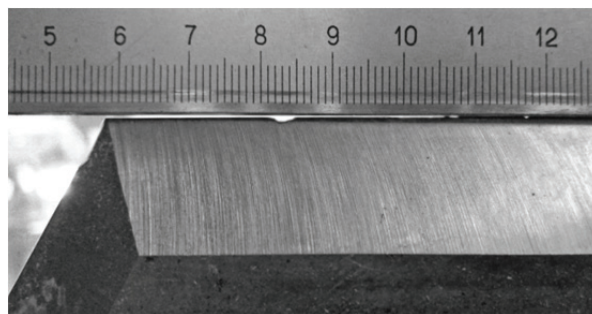


Рис. 4. Наглядный износ длинной кромки ножа после 40 ч эксплуатации

Затупление кромки дереворежущего инструмента является сложным процессом (слагается из механического, теплового, химического, электрохимического и других воздействий) и в качестве одной из особенностей выделяют развитие его в локальных зонах, расположенных у режущей кромки инструмента [9, 10, 11]. Это предопределяет необходимость упрочнения поверхностей режущего инструмента в зонах с активным износом, так как за их границами свойства материала не играют особую роль в затуплении инструмента. С точки зрения экономии материальных, трудовых и энергетических ресурсов упрочняющей обработке следует подвергать только локальную зону или поверхность инструмента, непосредственно участвующую в резании [12].

Для определения динамической интенсивности потери режущей способности ножей ма-

лоножевых торцово-конических фрез на предприятии ОАО «Борисовский ДОК» были проведены экспериментальные исследования на фрезерно-брусующем станке второго ряда LINK V25. Методом слепков определялся радиус округления  $\rho$ , мкм, режущей кромки ножа (рис. 5) с момента заточки (при  $\rho_{\min} = \rho_0$ ), далее после каждой рабочей смены (через 8 ч) до последующей переподготовки инструмента (по прошествии 5 смен или 40 ч, соответственно значения  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ ) [13]. Исследуемый нож изготовлен из легированной стали 40XB2C.

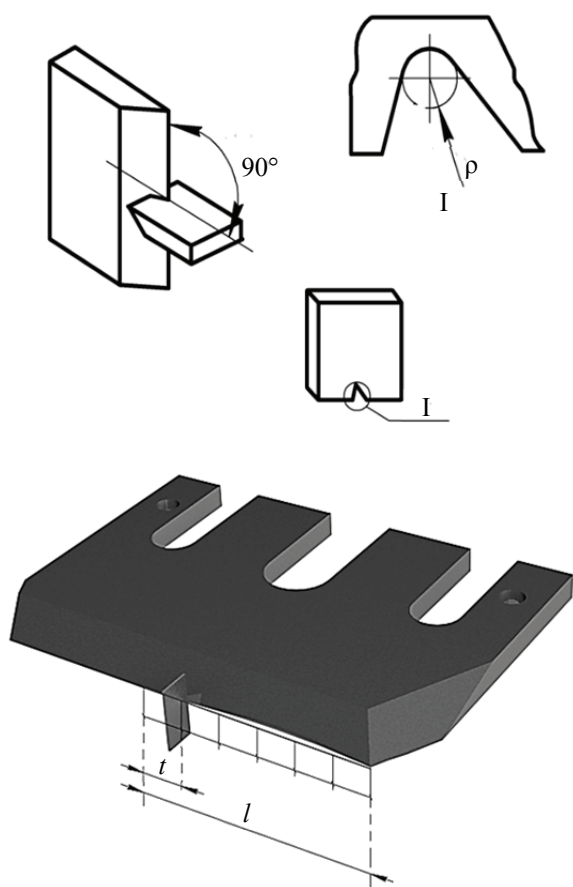


Рис. 5. Метод слепков

Измерения радиуса округления режущей кромки ножа фрезерно-брусующего станка проводились на длине кромки  $l = 72$  мм с шагом  $t = 6$  мм.

Для получения достоверного отпечатка режущий инструмент механически фиксировался, и свинцовая пластинка надвигалась на лезвие по концевым мерам, которые использовались как направляющие. Полученный отпечаток – радиус округления кромки – измерялся на универсальном световом микроскопе МИ-1 производства ОАО «Планар-ТМ» (Беларусь) с программным обеспечением ЗАО «Спектроскопические системы» (рис. 6).

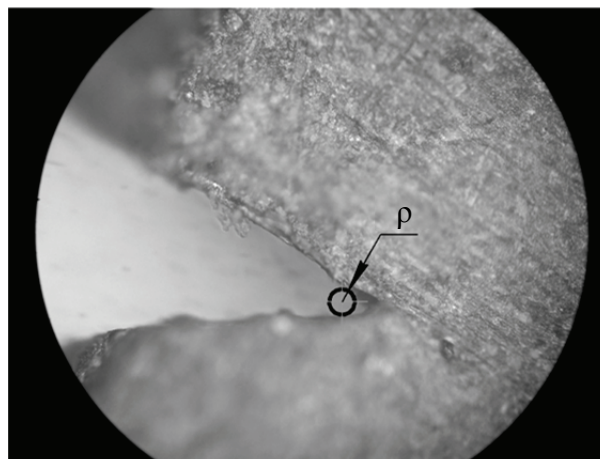


Рис. 6. Фотография свинцового слепка режущей кромки ножа: увеличение 200-кратное,  $\rho = 17$  мкм

Результаты измерения радиуса округления режущей кромки методом слепков после проведенных производственных испытаний показали характер изменения радиуса округления режущей кромки ножа (на примере точки пересечения длинной и короткой режущих кромок ножа) в промежутке времени между переподготовками ножа. Начальный радиус режущей кромки ножа составил  $\rho_0 = 17$  мкм, конечный  $\rho_5 = 156$  мкм (рис. 7).

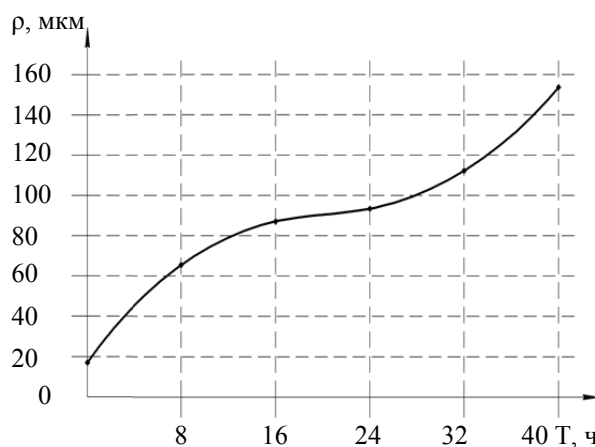


Рис. 7. Характер изменения радиуса округления режущей кромки ножа

Характер прироста радиуса округления резца близок к теоретической закономерности кривой износа лезвий ножей, показанной в литературе [14, 15].

Проекция профиля реальной режущей кромки ножа после 40-часовой работы (обработано  $2132,5 \text{ м}^3$  древесины хвойных пород: 93% – сосна, 7% – ель, влажность древесины 78%, частота вращения фрез  $1090 \text{ мин}^{-1}$ , скорость подачи  $25 \text{ м/мин}$ ) с указанием радиусов округления по двум режущим кромкам представлена на рис. 8.

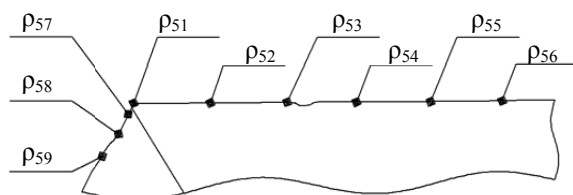


Рис. 8. Характер изменения радиуса округления режущей кромки ножа:  
 $\rho_{51} = 148$  мкм;  $\rho_{52} = 156$  мкм;  $\rho_{53} = 136$  мкм;  
 $\rho_{54} = 94$  мкм;  $\rho_{55} = 66$  мкм;  $\rho_{56} = 40$  мкм;  
 $\rho_{57} = 178$  мкм;  $\rho_{58} = 164$  мкм;  $\rho_{59} = 112$  мкм

Дугообразный профиль на участке между  $\rho_{53}$  и  $\rho_{54}$  свидетельствует о попадании в рабочую зону ножа твердого включения (металлического или иного происхождения, значительно

превосходящего твердость древесины), что привело к аварийному износу режущей кромки.

**Заключение.** Полученные экспериментальные данные значений радиусов округления позволили графически отобразить динамику износа лезвий ножей фрез малоножевого фрезерно-брусующего оборудования. Неравномерный характер механического диспергирования поверхностей ножа из легированной стали 40ХВ2С указывает на необходимость совершенствования конструкции ножа путем применения локальной упрочняющей обработки, модификации участков поверхностей износостойкими тугоплавкими соединениями или разработки составных и сборных конструкций ножей со сменными участками из материалов повышенной износостойкости.

### Литература

1. Щепа технологическая. Технические условия: ГОСТ 15815–83. Введ. 01.01.85. М.: Гос. комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 1983. 12 с.
2. Раповец В. В., Гриневиц С. А., Бурносов Н. В. Конструкция и расчеты фрезерно-брусующих станков. Минск: БГТУ, 2015. 82 с.
3. Кучеров И. К., Пашков В. К. Станки и инструменты лесопильно-деревообрабатывающего производства. М.: Лесная пром-сть, 1970. 560 с.
4. Кряжев Н. А. Фрезерование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1979. 200 с.
5. Боровиков Е. М., Фефилов В. В., Шестаков Л. А. Лесопиление на агрегатном оборудовании. М.: Лесная пром-сть, 1985. 216 с.
6. Таратин В. В., Фефилов Л. А., Боричев Ю. А. Совершенствование малоножевых торцово-конических фрез агрегатного лесопильного оборудования // Межвузовский сборник научных трудов СПбЛТА. Станки и инструменты деревообрабатывающих производств. СПб., 1993. С. 93–97.
7. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
8. Раповец В. В. Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат: дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2011. 206 с.
9. Клепацкий И. К. Эффективные методы повышения технологической стойкости ножей для агрегатной переработки древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 190–195.
10. Зотов Г. А., Памфилов Е. А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с.
11. Петренко М. Н. Повышение стойкости дереворежущего инструмента технологическими методами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Химки, 1984. 18 с.
12. Повышение эксплуатационных свойств дереворежущих ножей комбинированным методом нанесения вакуумных упрочняющих покрытий и магнитно-импульсной обработки / А. В. Алифанов [и др.] // Литье и металлургия. 2014. № 2. С. 95–100.
13. Глебов И. Т., Абдулов А. Р. Оборудование отрасли: исследование микрогеометрии режущих кромок лезвий. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. 9 с.
14. Партон В. З. Механика разрушения. М.: Наука, 1990. 240 с.
15. Пижурин А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 2004. 376 с.

### References

1. GOST 15815–83. Wood chips. Technical conditions. Moscow, State Committee of the USSR on standards, Standart publishing house Publ., 1983. 12 p. (In Russian).
2. Rapovets V. V., Grinevich S. A., Burnosov N. V. *Konstruktsiya i raschety frezerno-brusuyushchikh stankov* [Construction and calculations of chipper cutter machines]. Minsk, BSTU Publ., 2015. 82 p.
3. Kucherov I. K., Pashkov V. K. *Stanki i instrumenty lesopil'no-derevoobrabatyvayushchego proizvodstva* [Machine tools and sawmill-woodworking production]. Moscow, Lesn. prom-st' Publ., 1970. 560 p.

4. Kryazhev N. A. *Frezerovaniye drevesyiny* [Wood milling]. Moscow, Lesn. prom-st' Publ., 1979. 200 p.
5. Borovikov E. M., Fefilov L. A., Shestakov V. V. *Lesopileniye na agregatnom oborudovanii* [Sawmilling on aggregate equipment]. Moscow, Lesn. prom-st' Publ., 1985. 216 p.
6. Taratin V. V., Fefilov L. A., Borichev Yu. A. Improvement of low-blade butt-and-conic cutters of aggregate sawing equipment. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov SPbLTA. Stanki i instrumenty* [Interuniversity collection of scientific works of SPbLTA. Woodworking machinery and tools]. St. Peterburg, 1993. 93–97 p. (In Russian).
7. Nikishov V. D. *Kompleksnoye ispol'zovaniye drevesyiny* [Complex use of wood]. Moscow, Lesn. prom-st' Publ., 1985. 264 p.
8. Rapovets V. V. *Kompleksnaya obrabotka drevesyiny frezami so spiral'nym raspolozheniyem sbornnykh dvukhlezyvnykh nozhey, obespechivayushchaya kachestvo produktsii i snizheniye energozatrat: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Complex processing of wood with mills with a spiral arrangement of prefabricated two-blade knives, ensuring product quality and reducing energy costs. Diss. PhD (Engineering)]. Minsk, 2011. 206 p.
9. Klepatskiy I. K. Effective methods for improving the technological stability of knives for aggregate wood processing. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Issue 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 1 (204), pp. 190–195 (In Russian).
10. Zotov G. A., Pamfilov Ye. A. *Povysheniye stoykosti derevorezhushchego instrumenta* [Enhancing the durability of wood-cutting tools]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 384 p.
11. Petrenko M. N. *Povysheniye stoykosti derevorezhushchego instrumenta tekhnologicheskimi metodami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Increasing the durability of wood-cutting tools by technological methods. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Khimki, 1984. 18 p.
12. Alifanov A. V., Demyanchik A. S., Lyah A. A., Milukova A. M. Improving the performance properties of wood-cutting knives by the combined method of applying vacuum hardening coatings and magnetic-pulse processing. *Lit'ye i metallurgiya* [Casting and metallurgy], 2014, no. 2, pp. 95–100 (In Russian).
13. Glebov I. T., Abdulov A. R. *Oborudovaniye otrasli: issledovaniye mikrogeometrii rezhushchikh kromok lezviy* [Equipment of the industry: investigation of microgeometry of cutting edges of blades]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2013. 9 p.
14. Parton V. Z. *Mekhanika razrusheniya* [Fracture mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 240 p.
15. Pizhurin A. A. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki* [Modeling and optimization of woodworking processes]. Moscow, Lesn. prom-st' Publ., 2004. 375 p.

#### Информация об авторах

**Клепацкий Игорь Казимирович** – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lucky-35@mail.ru.

**Раповец Вячеслав Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: slavyan\_r@mail.ru.

#### Information about the authors

**Klepatski Ihar Kazimirovich** – PhD 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.

**Rapovets Vyacheslav Valeryevich** – 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.

Поступила 11.03.2019

УДК 674.05:621.914

**С. А. Гриневич, Г. В. Алифировец**

Белорусский государственный технологический университет

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ**

В данной статье приведена конструкция экспериментальной установки на базе одностороннего шипорезного станка ШО16-4, разработанная на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов. Установка предназначена для изучения полужакрытого и закрытого процесса попутного фрезерования древесины.

Экспериментальная установка позволяет воспроизвести условия промышленной обработки древесины на профилирующих узлах линий агрегатной переработки и получить выходные параметры процесса резания в удобном виде. Особенностью конструкции является жесткая фиксация универсального динамометра на шипорезной каретке станка. Скорость подачи каретки может плавно изменяться от 2,5 до 15,0 м/мин, а за счет смены ведущей звездочки этот диапазон может быть еще увеличен. Гидросистема станка обеспечивает надежную подачу и демпфирует ударные нагрузки, возникающие при врезании ножа фрезы в древесину. Образец обрабатываемого материала крепится в универсальном динамометре и вместе с кареткой подается на вращающийся инструмент. В работе экспериментальной установки задействован только пятый проушечный шпиндель, направление вращения которого реверсировано. Для плавного регулирования частоты вращения режущего инструмента электродвигатель привода резания подключен через частотный преобразователь. Для определения величины силы взаимодействия инструмента и древесины в процессе резания аналоговый выход универсального динамометра подключен к измерительной системе EX-UT10, где он регистрируется и обрабатывается, а затем уже оцифрованный сигнал передается с высокой точностью на персональный компьютер.

**Ключевые слова:** экспериментальная установка, фрезерование, щепа, сила, мощность, измерительная система.

**S. A. Grinevich, G. V. Alifirovets**

Belarusian State Technological University

**EXPERIMENTAL FACILITY TO STUDY THE MILLING PROCESS WITH PRODUCTION OF TECHNOLOGICAL CHIPS**

This article describes the design of an experimental facility based on unilateral tenoner ШО16-4, developed at the Department of woodworking machines and tools. The unit is designed to study the semi-closed and closed process of passing milling of wood.

The experimental setup allows to reproduce the conditions of industrial wood processing on the profiling units of the aggregate processing lines and to obtain the output parameters of the cutting process in a convenient form. A special feature of the design is a rigid fixation of the universal dynamometer on the machine spiked carriage. The feed rate of the carriage can vary smoothly from 2.5 to 15 meters per minute, and by changing the drive sprocket, this range can be further increased. The hydraulic system of the machine provides a reliable supply and damps the shock loads that occur when the cutter knife is inserted into the wood. The sample of the processed material is fixed in a universal dynamometer and together with the carriage is fed to the rotating tool. In the experimental setup involved only the fifth spindle, the direction of rotation of which is reversed. For smooth speed control of the cutting tool, the cutting drive motor is connected via a frequency converter. To determine the value of the force of interaction between the tool and wood in the cutting process, the analog output of the universal dynamometer is connected to the measuring system EX-UT10, where it is recorded and processed, and then the digitized signal is transmitted with high accuracy to a personal computer.

**Key words:** experimental facility, milling, chips, force, power, measuring system.

**Введение.** Эффективная переработка круглых лесоматериалов на современных деревообрабатывающих предприятиях как в нашей республике, так и за рубежом осуществляется с использованием 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 цилиндрическими фрезами с целью придания им ступенчатой формы, упро-

щающей процесс дальнейшей переработки. Последующая распиловка ступенчатого бруса позволяет получить обрезные материалы без применения специализированного оборудования [1]. Удаляемая фрезами часть древесины перерабатывается в технологическую щепу и может быть использована в целлюлозно-бумажной промышленности, производстве плит и других отраслях народного хозяйства [2, 3]. По сравнению с другими технологиями переработки лесоматериалов данная технология имеет ряд преимуществ:

- отпадает необходимость в применении обрезных круглопильных станков;
- упрощается система коммуникации (так как транспортировать щепу проще, чем рейки);
- уменьшается общая длина технологической линии и соответственно снижаются производственные площади;
- нет необходимости в применении массивных фундаментов.

Для изучения процесса фрезерования древесины профилирующими агрегатами на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ была разработана экспериментальная установка на базе одностороннего шипорезного станка модели ШО16-4 [5].

**Основная часть.** Целью работы является разработка конструкции экспериментальной установки для изучения процесса фрезерования древесины профилирующими агрегатами фрезерно-брусующих станков на базе одностороннего шипорезного станка ШО16-4.

Экспериментальная установка на базе шипорезного одностороннего станка ШО16-4 предназначена для проведения исследований по определению касательной составляющей силы резания при процессе полузакрытого и закрытого фрезерования.

На рис. 1 представлен общий вид экспериментальной установки.

Экспериментальная установка представляет собой четырехшпиндельную модель с пильной, прорезной и двумя вертикальными прорезными режущими головками. Первой по ходу подачи материала расположена пильная головка, за ней шипорезные и прорезная головка, которая может быть использована для набора крючьев фрез или другого инструмента. Шпинделями режущих головок являются удлиненные концы валов электродвигателей, каждый из которых смонтирован на отдельном суппорте. Пильный, верхний шипорезный и прорезной суппорты оборудованы механизмами, обеспечивающими вертикальное и горизонтальное перемещение, и смонтированы на колонке станка. Нижний шипорезный суппорт

имеет только вертикальное перемещение и установлен на опорной балке.

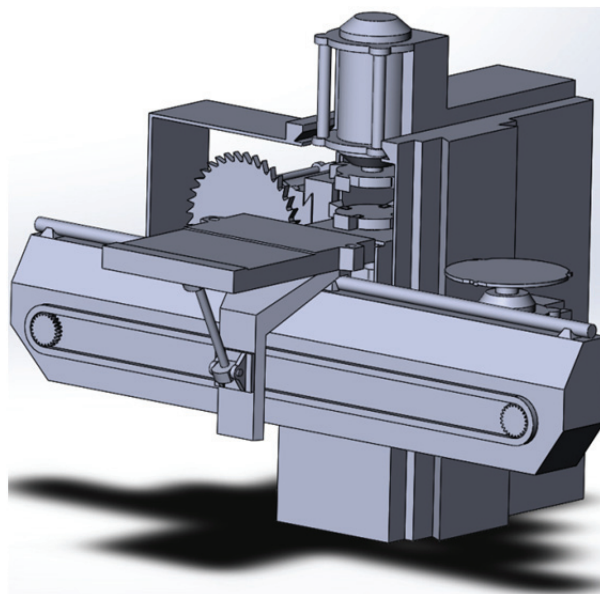


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

Все режущие головки имеют ограждения, обеспечивающие безопасность работы на установке. Шторки ограждения имеют электроблокировку, исключающую возможность пуска станка при снятом или поднятом ограждении. Каретка установки совершает обратно-поступательное движение по верхней цилиндрической и нижней плоской направляющим, которые укреплены на опорной балке. Балка и колонка установлены на станине. На столе каретки установлен гидроприжим, обеспечивающий надежное крепление обрабатываемых заготовок в процессе резания. Возврат каретки и останов ее в исходном положении происходят автоматически при срабатывании конечных выключателей, установленных на корпусе.

В состав экспериментальной установки на базе станка ШО16-4 входят следующие основные узлы и элементы: каретка; привод подачи; электрооборудование; суппорт пильный; гидроагрегат; суппорт прорезной; станина; гидрозажимы; суппорт шипорезный нижний; суппорт шипорезный верхний; кожух.

Техническая характеристика экспериментальной установки приведена в таблице.

В качестве измерительной системы экспериментальной установки используется динамометр УДМ-1200, который позволяет измерять три взаимоперпендикулярные составляющие силы резания, а также крутящий момент. Динамометр соединяется с блоками аналоговых вольтметров.



**Техническая характеристика  
экспериментальной установки  
на базе шипорезного станка ШО16-4**

Параметр	Значение
Скорость подачи, м/мин: наибольшая	15
наименьшая	2,5
Скорость резания, м/с	50
Номинальное давление в гидросистеме, МПа	2,5
Масса установки, кг	1200
Мощность электродвигателя привода резания, кВт	4
Мощность электродвигателя гидропривода, кВт	1,1

В комплект набора измерительной системы экспериментальной установки входят динамометр УДМ-1200, который жестко скреплен с обрабатываемым образцом древесины в виде пераллелепеда, тензометрическая измерительная система EX-UT10 (Япония), позволяющая регистрировать аналоговые данные с УДМ-1200, обрабатывать, сохранять, передавать и представлять в удобном для пользователя виде уже оцифрованные данные, персональный компьютер HP Compaq nx 7400 и соединительные кабели [5].

Принцип работы измерительной системы состоит в следующем (рис. 2). При действии сил резания на образец древесины, закрепленный в динамометре-датчике УДМ-1200, деформируются чувствительные элементы динамометра (опоры) с наклеенными на них проводочными датчиками, сопротивление которых изменяется пропорционально прилагаемым

усилиям и изгибающему моменту, чем и определяется пропорциональное изменение соответствующего сигнала. Аналоговые сигналы от динамометра-датчика по 4 каналам поступают далее на входы измерительной системы EX-UT10, где регистрируются и обрабатываются, а затем уже оцифрованный сигнал передается с высокой точностью (до 0,1 Н) на персональный компьютер (ПК). На компьютере при помощи установленного базового программного обеспечения измеренные величины сохраняются и представляются для пользователя в удобном виде (табличном, графическом).

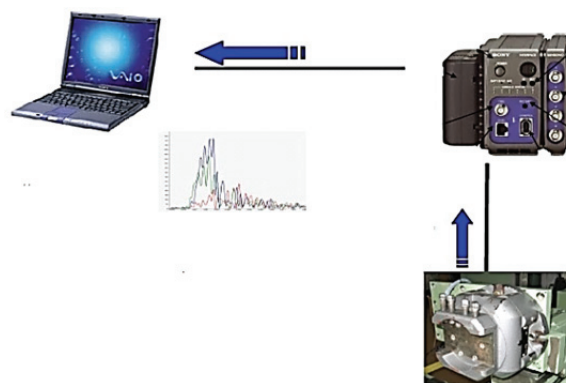


Рис. 2. Измерительная система для синхронной регистрации составляющих сил резания

**Заключение.** На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ разработана новая конструкция экспериментальной установки на базе одностороннего шипорезного станка ШО16-4, позволяющая проводить исследование процесса попутного фрезерования древесины с получением технологической щепы и при этом регистрировать в реальном времени все составляющие силы резания.

### Литература

1. Гришкевич А. А., Аникеенко А. Ф. Экспериментальная установка для исследования процесса фрезерования древесины и древесных материалов // Труды БГТУ. Серия II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2005. Вып XIII. С. 202–204.
2. Щепя технологическая. Технические условия: ГОСТ 15815–1983. Введ. 01.01.1985. М.: Издательство стандартов, 1983. 12 с.
3. Боровиков Е. М., Фефилов Л. А., Шестаков В. В. Лесопиление на агрегатном оборудовании. М.: Лесная промышленность, 1985. 216 с.
4. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия: СТБ 1713-2007. Введ. 30.01.2007. Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2007. С. 19.
5. Гришкевич А. А., Аникеенко А. Ф. Методика проведения экспериментальных исследований по фрезерованию древесных плитных материалов на обрабатывающем центре с числовым программным управлением Rover B4.35 // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2007. Вып. XV. С. 213–216.

### References

1. Grishkevich A. A., Anikeenko A. F. Experimental setup to study the process of milling wood and wood-based materials. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forestry and Woodworking Industry, 2005, issue XIII, pp. 202–204 (In Russian).

2. GOST 15815-1983. Wood chips. Specifications. Moscow, Publishing House of Standards, 1983. 12 p. (In Russian).
3. Borovikov E. M., Fefilov L. A., Shestakov V. V. *Lesopilenie na agregatnom oborudovanii* [Wood sawing on aggregate equipment]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 216 p.
4. STB 1713-2007. Sawn softwood. Specifications. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2007. P. 19 (In Russian).
5. Grishkevich A. A., Anikeenko A. F. A methodology for conducting experimental research on the milling of wood-based panel materials at the processing center with numerical programmed control of Rover B4.35. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 213–216 (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: gres410a@ya.ru

**Алифировец Григорий Васильевич** – заведующий лабораторией 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**

**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** – head of laboratory, 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 14.03.2019*

УДК 674.053:621.934

**А. В. Ширко<sup>1</sup>, С. А. Гриневич<sup>2</sup>, В. Т. Лукаш<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ООО «Бел Хуавэй Технолоджис»<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ ЗУБЬЕВ ДИСКОВЫХ ПИЛ**

Проблема получения качественной продукции в деревообрабатывающей промышленности неразрывно связана с подготовкой режущего инструмента. Особенно этот вопрос актуален при раскрое ламинированных древесностружечных пил твердосплавными дисковыми пилами. Экспериментальные исследования потери режущей способности инструмента носят, как правило, довольно продолжительный характер и сопряжены с существенными трудовыми затратами. Чтобы избежать длительных испытаний, процесс износа зубьев дисковой твердосплавной пилы с плоско-трапециевидным профилем зубьев был смоделирован и проанализирован с помощью универсальной программной системы конечно-элементного анализа ANSYS. Программа широко распространена в сфере автоматизированных инженерных расчетов для решения методом конечных элементов линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций.

В работе представлены результаты моделирования процесса затупления зубьев твердосплавных дисковых пил с плоско-трапециевидным профилем. За формирование качественного пропила в паре отвечает зуб с плоским профилем, поэтому основное внимание в работе уделено именно ему. Результаты моделирования позволили выявить наиболее нагруженные, а соответственно, более подверженные износу участки режущих граней плоского зуба. Расчет величины износа был произведен на основании теории Арчарда.

**Ключевые слова:** пила, зуб, твердый сплав, износ, моделирование.

**A. V. Shirko<sup>1</sup>, S. A. Grinevich<sup>2</sup>, V. T. Lukash<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Huawei Minsk Research Center<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**MODELING OF THE BLUNTING OF THE TEETH OF CIRCULAR SAW BLADES**

The problem of obtaining quality products in the woodworking industry is inextricably linked with the preparation of cutting tools. This question is especially relevant during cutting laminated chipboard with carbide circular saws. Experimental studies of the tool cutting ability loss are usually quite long and involve significant labor costs. In order to avoid long-term tests, the wear process of the teeth of a flat-trapezoidal carbide saw was simulated and analyzed using the universal software system of finite element analysis ANSYS. The program is widely used in the field of automated engineering calculations for solving linear and nonlinear, stationary and non-stationary spatial problems of solid mechanics and structural mechanics by the finite element method.

The paper presents the results of modeling the blunting of carbide circular saws teeth with a flat-trapezoidal profile. A tooth with a flat profile is responsible for the formation of a high-quality cut in a pair, so the main attention in the work is paid to it. The simulation results allowed to identify the most loaded, and, accordingly, more prone to wear areas of the cutting faces of a flat tooth. The calculation of the wear dimension was made on the basis of the Archard's theory.

**Key words:** saw, tooth, hard alloy, wear, modeling.

**Введение.** Для исследования процессов деревообработки могут применяться как методы прямой постановки эксперимента, так и методы моделирования. Моделирование позволяет исследовать явления, объекты или их взаимодействие и получить их математическое описание с дальнейшей возможностью предсказывать их поведение [1]. На сегодняшний день благодаря развитию информационных технологий стало возможно создавать виртуальные модели объектов и проводить анализ их взаимодействия, не прибегая к сложным и трудоемким экспериментам.

Одной из актуальных проблем в подготовке дисковых пил является их своевременная переточка, а также вопрос о величине съема и соотношении количества переточек по задней и передней поверхности зуба. С одной стороны, необходимо обеспечить высокую стойкость инструмента в пределах одной переточки, а с другой – использовать инструмент максимально эффективно и обеспечить максимальную суммарную стойкость пилы. Чтобы приблизиться к решению данной задачи, авторами было выполнено моделирование затупления зубьев дисковых твердосплавных пил с помощью программы ANSYS.

**Основная часть.** Аналитическое исследование взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом сразу по нескольким граням с учетом особенностей конструкции режущих зубьев представляет собой довольно сложную задачу. Поэтому для ее решения была использована универсальная программа численного моделирования и анализа ANSYS.

Для моделирования износа в данном программном продукте была применена теория, разработанная британским инженером Джоном Ф. Арчардом [2]. На сегодняшний день данная теория имеет широкое распространение для решения задач, связанных с абразивным изнашиванием. Данная теория хорошо согласуется с положением о пропорциональности объема изношенного материала режущего элемента пути резания [3]. Согласно Арчарду:

$$W = K \cdot L \cdot \frac{F}{H}, \quad (1)$$

где  $W$  – объем изношенного материала,  $\text{мкм}^3$ ;  $K$  – коэффициент изнашивания,  $\text{мкм}^3/\text{м} \cdot \text{Н}$ ;  $L$  – путь контакта, м;  $F$  – нормальная нагрузка в зоне контакта, Н;  $H$  – твердость изнашиваемого материала.

Модель износа по Арчарду может быть также записана в виде пропорциональности объема изношенного материала величине работы сил трения (2):

$$W = k_v \cdot A, \quad (2)$$

где  $W$  – объем изношенного материала,  $\text{мкм}^3$ ;  $k_v$  – коэффициент объемного износа,  $\text{мкм}^3/\text{Дж}$ ;  $A$  – работа сил трения, Дж.

Плоско-трапецевидный профиль зубчатого венца дисковой твердосплавной пилы представляет собой комбинацию зубьев с плоской и трапецевидной формой (рис. 1).

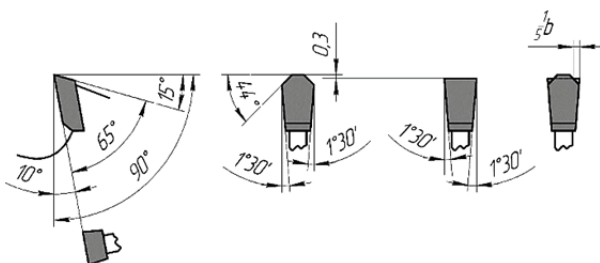


Рис. 1. Плоско-трапецевидный профиль зубьев дисковых пил

Для моделирования в графическом пакете SolidWorks были построены в натуральном масштабе зубья пилы с плоским и трапецевидальным профилем.

Вершины зубьев трапецевидной формы расположены на 0,3 мм выше окружности вершин зубьев с плоской задней поверхностью. При пилении расстояние между резами зубьев в плоскости подачи составляет  $(0,3 - S_z)$  мм. При проходе зуба трапецевидной формы выбирается паз соответствующей формы и срезается значительная часть материала. Таким образом, боковые поверхности зубьев трапецевидной формы подчищают стенки пропила, обеспечивая функцию центрирования зуба и инструмента в целом. Идущий за ним плоский зуб окончательно формирует пропил, снимая меньший объем материала. Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре «плоский/трапецевидный», составляет 40/60 [3].

Таким образом, зубья с плоским профилем не несут существенной нагрузки и служат для окончательного формирования стенок пропила, т. е. именно они определяют качество обработки, и моделирование их затупления представляет наибольший практический интерес.

На основании анализа, проведенного в работе [3], была построена модель поверхности, с которой взаимодействует зуб пилы с плоским профилем. На рис. 2 показан зуб с плоским профилем и форма обрабатываемой им поверхности, сформированная предыдущим зубом с трапецевидальным профилем (контактная пара).

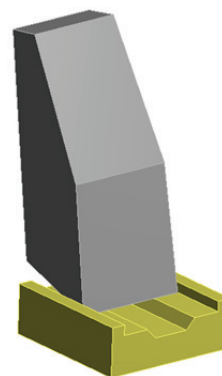


Рис. 2. Плоский зуб пил и соответствующая ему форма обрабатываемой поверхности

Следующим этапом было построение расчетной области. Целевая поверхность представляла собой гексагональную, структурированную, масштабируемую в зоне контакта конечно-элементную сетку (рис. 3).

В результате моделирования трения зубьев по нижней и боковым поверхностям пропила получено графическое изображение износа контактных поверхностей и распределения напряжения (рис. 4).

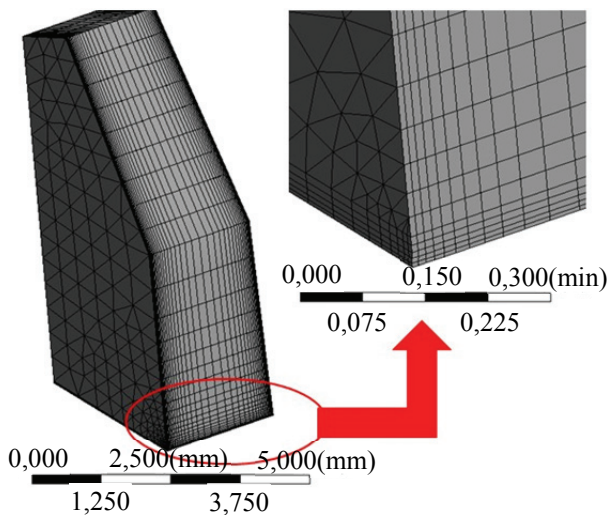


Рис. 3. Размер конечно-элементной сетки на геометрической модели плоского зуба

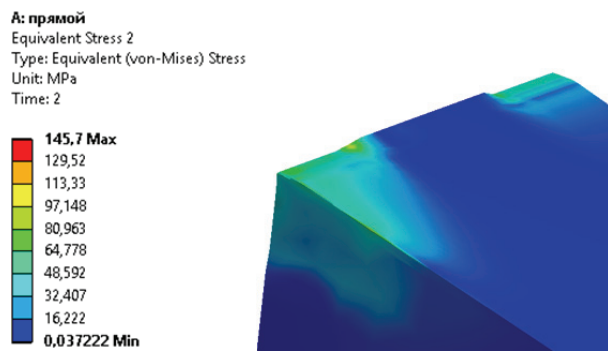


Рис. 4. Распределение напряжения в плоском зубе

На рис. 5 представлено изображение износа контактных поверхностей и распределение давления в контактной паре.

Сопоставив полученное изображение с фотографией плоского зуба (рис. 6) твердосплавной дисковой пилы, изношенной в реальных производственных условиях, нетрудно убедиться в их идентичности.

Это может служить подтверждением адекватности предлагаемой модели и возможности ее использования для сокращения количества экспериментов по исследованию износостойкости дисковых твердосплавных пил.

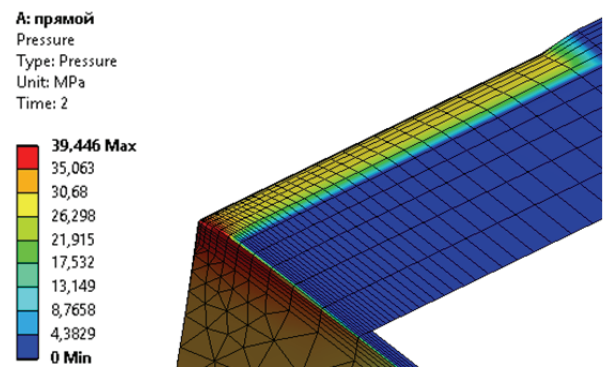


Рис. 5. Распределение давления в плоском зубе

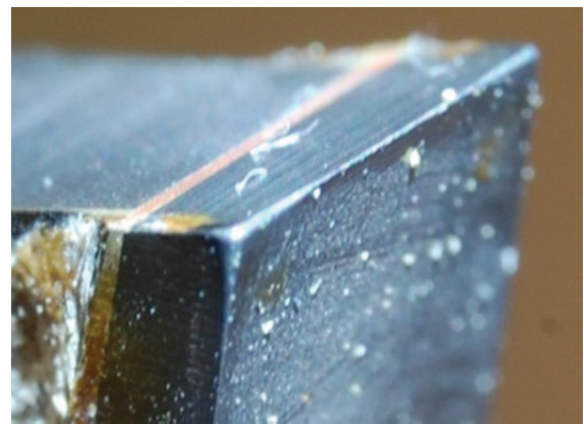


Рис. 6. Фотография изношенного зуба

**Заключение.** Полученные в работе результаты по моделированию изнашивания зубьев твердосплавных дисковых пил сопоставимы с результатами, полученными при изучении затупленных дисковых твердосплавных пил [4–9]. Это дает возможность использовать данную модель для уменьшения трудоемкости экспериментальных исследований по изучению износостойкости режущего инструмента.

При этом все же следует отметить, что полностью исключить проведение опытов на реальных образцах невозможно, так как коэффициент объемного изнашивания  $k_v$ ,  $\text{мкм}^3/\text{Дж}$ , входящий в уравнение Арчарда, может быть получен только экспериментальным путем.

### Литература

1. Пижурин А. А., Пижурин А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2004. 376 с.
2. Archard J.F. Contact and rubbing of flat surfaces // Journal of Applied Physics. 1953. Vol. 24, No. 8. P. 981–988.
3. Лукаш В. Т. Ресурсосберегающие режимы обработки ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми твердосплавными пилами с комбинированным профилем зубьев: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Минск, 2017. 191 л.
4. Лукаш В. Т., Гриневич С. А. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с плоско-трапециевидным профилем зубьев // Труды БГТУ. Сер. П, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 234–239.
5. Гриневич С. А. Лукаш В. Т. Определение максимального ресурса твердосплавных дисковых пил при обработке ламинированных древесностружечных плит // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 275–279.

6. Гриневиц С. А., Лукаш В. Т. Геометрическое моделирование затупления дереворежущего инструмента // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2 (210). С. 275–279.

7. Майснер Д. А. Износ твердосплавных дисковых пил и оптимальная схема их заточки [Электронный ресурс]. URL: <https://woodtool.nethouse.ru/static/doc/0000/0000/0217/217297.tu67705x1i.doc> (дата обращения: 23.10.2016).

8. Амалицкий Вит. В. Пиление твердосплавными круглыми пилами и их заточка // Деревообрабатывающая промышленность. 2005. № 5. С. 6–10.

9. Полосухин К. А. Влияние износа режущей кромки круглых пил, оснащенных пластинами твердого сплава, на качество обработанной поверхности // Надежность и качество: труды Междунар. симпоз.: в 2 т. / Пензенский гос. ун-т. 2013. Т. 2. С. 162–164.

### References

1. Pizhurin A. A. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki* [Modeling and optimization of woodworking processes]. Moscow, Mosc. state Univ. of Forest Publ., 2004. 376 p.

2. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*, 1953, vol. 24, no. 8, pp. 981–988.

3. Lukash V. T. *Resursosberegayushchie rezhimy obrabotki laminirovannykh drevesno-struzhechnykh plit diskovymi tverdospлавными pilami s kombinirovannym profilem zub'ev: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Resource-saving modes of laminated shipboards with disk carbide saws with a combined tooth profile: Dis. PhD (Engineering)]. Minsk, 2017. 191 p.

4. Lukash V. T., Grinevich S. A. Technological stability and initial power at processing of laminated chipboard with saws with a flat-trapezoidal profile of teeth. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 275–279 (In Russian).

5. 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 (175): Forest and Woodworking Industry, pp. 275–279 (In Russian).

6. Grinevich S. A., Lukash V. T. Geometric modeling of the blunting of wood cutting tool. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Issue 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 2 (210), pp. 275–279 (In Russian).

7. Meisner D. A. *Iznos tverdospлавных diskovykh pil i optimal'naya skhema ih zatochki* [Wear of carbide disk saws and optimal scheme of their sharpening]. Available at: <https://woodtool.nethouse.ru/static/doc/0000/0000/0217/217297.tu67705x1i.doc> (accessed 23.10.2016).

8. Amalitskiy Vit. V. Sawing hard-alloy circular saws and sharpening. *Derevoobrabatyvayushhaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 5, pp. 6–10 (In Russian).

9. 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).

### Информация об авторах

**Ширко Алексей Владимирович** – кандидат физико-математических наук, ведущий инженер ООО «Бел Хуавэй Технолоджис» (220036, г. Минск. пр. Дзержинского, 5, Республика Беларусь). E-mail: a.shirko103@gmail.com.

**Гриневиц 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.

**Лукаш Валерий Талеусевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lukash\_valeriy@rambler.ru

### Information about the authors

**Shirko Alexey Vladimirovich** – PhD (Physics and Mathematics), leading engineer. Huawei Minsk Research Center (5, Dzerzhinsky Ave., 220036, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a.shirko103@gmail.com

**Grinevich Sergei 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.

**Lukash Valeriy Tadeushevich** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lukash\_valeriy@rambler.ru

Поступила 14.03.2019

УДК 621.74:669.13

**А. С. Раковец<sup>1</sup>, Д. В. Куис<sup>1</sup>, Н. А. Свидуневич<sup>1</sup>, А. Т. Волочко<sup>2</sup>, С. Н. Лежнев<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси<sup>3</sup>Рудненский индустриальный институт

### ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ГРАФИТИЗИРУЮЩИХ МОДИФИКАТОРОВ НА ПЕРВИЧНУЮ СТРУКТУРУ СЕРОГО ЧУГУНА

Эффективность модификаторов определяется многими критериями. При этом основными среди них принято считать увеличение числа эвтектических зерен, уменьшение склонности чугуна к отбелу, уменьшение степени переохлаждения в процессе кристаллизации эвтектики. Увеличение числа эвтектических зерен при модифицировании чугуна можно считать главным критерием оценки эффекта модифицирования, который соответствует зародышевой теории процесса. Остальные критерии служат дополнительными характеристиками основного эффекта.

В статье исследовано влияние комплексного модификатора, содержащего нанокремниевые компоненты, на первичное структурообразование серого чугуна. Проведена оценка величины эвтектического зерна и характеристика первичного (предэвтектического) аустенита.

Установлено, что разрабатываемые модификаторы за счет непосредственного ввода в расплав центров кристаллизации в виде дисперсных углеродных частиц позволяют значительно повысить эффект модифицирования и снизить затраты на модификаторы благодаря их меньшему расходу.

**Ключевые слова:** серый чугун, комплексные модификаторы, лигатура, нанокремниевые компоненты, фуллереновая сажа, структурообразование, дендриты, эвтектические зерна, эффективность модифицирования.

**A. S. Rakovets<sup>1</sup>, D. V. Kuis<sup>1</sup>, N. A. Svidunovich<sup>1</sup>, A. T. Volochko<sup>2</sup>, S. N. Lezhnev<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Physical-Engineering Institute of the National Academy of Sciences of Belarus<sup>3</sup>Rudnensky Industrial Institute

### FEATURES OF THE EFFECT OF NANOSTRUCTURED GRAPHITIZING MODIFIERS ON THE PRIMARY STRUCTURE OF GRAY CAST IRON

The effectiveness of modifiers is determined by many criteria. At the same time, the main criteria for assessing the effect of modification is considered to be an increase in the number of eutectic grains, reducing the tendency of iron to bleach, reducing the degree of hypothermia in the process of crystallization of eutectic. The increase in the number of eutectic grains during the modification of cast iron can be considered the main criterion for assessing the effect of modification, which corresponds to the embryonic theory of the process. Other criteria serve as additional characteristics of the main effect.

The article investigates the influence of a complex modifier containing nanocarbon components on the primary structure formation of gray cast iron. The estimation of the size of the eutectic grains, and characteristics of the primary (predetermined) austenite.

It is established that the developed modifiers, due to the direct introduction into the melt of crystallization centers in the form of dispersed carbon particles, can significantly increase the effect of modification, and reduce the cost of modifiers, due to their lower consumption.

**Keywords:** grey cast iron, complex modifiers, ligature, nanocarbon components, fullerene soot, dendrites, eutectic grain, effectiveness of modification.

**Введение.** Свойства чугуна определяются его структурой. Поэтому большое значение имеет знание процессов, связанных со структурообразованием, особенно процесса графитизации, определяющего не только количество,

форму и распределение графита, но и строение металлической основы.

Главным современным металлургическим методом повышения эффективности литейного производства является модифицирую-

шая обработка расплавов перед кристаллизацией, обеспечивающая качество материала отливок [1].

Несмотря на достаточно большую практику модифицирования и многочисленные исследования закономерностей структурообразования при модифицировании чугунов лигатурами, на многие вопросы из этой области знаний еще не даны ответы [2].

Наиболее часто используемые модификаторы в настоящее время – это сплавы на основе Fe-Si, содержащие различное количество одного или нескольких элементов (Ca, Ba, Sr, Zr, Al, Ce и др.) [3–8]. Обилие рецептов зачастую затрудняет выбор необходимого модификатора для конкретных условий.

Существенным недостатком любого типа модифицирования является требование достаточно высокой температуры расплава перед началом модифицирования: для чугуна  $T > 1360^\circ\text{C}$ , для стали  $T > 1520^\circ\text{C}$ . При более низких температурах модификатор плохо растворяется в расплаве и переходит в шлак («зашлаковывается»), и эффект модифицирования быстро затухает. В этом случае требуется значительный перерасход модификатора.

Из-за низкого качества дешевых исходных материалов, а также преимущественного использования вагранки в качестве дешевого плавильного агрегата (электропечи из-за высокой стоимости электроэнергии для ряда литейных производств убыточны) эффективность традиционных модификаторов резко снизилась, что привело к массовому получению конструкционных чугунов низкой прочности [9–11].

В настоящее время в практике производства отливок из серых чугунов широкое распространение получают смесевые модификаторы графитизирующего действия. Отличительной особенностью комплексных смесевых модификаторов является то, что графитизирующие компоненты находятся в высокодисперсном состоянии, что обуславливает резкое повышение модифицирующей способности и «живучести» смеси. Однако применение смесевых модификаторов в производственных условиях представляет собой сложную задачу по определению необходимого соотношения углерода, кремния и других добавок в составе модификатора [12].

Современное состояние теории и практики использования смесевых модификаторов требуют для их изготовления применения новых материалов. Такими материалами могут явиться наноматериалы.

Среди прогрессивных технологий обработки чугуна особое место занимает стремитель-

но развивающаяся технология брикетирования легковесных псевдолигатур и нанопорошков. В качестве исходных материалов при внутриформенном модифицировании применяют порошки Mg, ФС75, СК5Ба5, Fe, графита, плавикового шпата, стальную дробь (размер частиц 1–4 мм). Использование нанопорошков (размером менее 100 нм)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, BN, полученных методом плазмохимического взрыва, привело к резкому измельчению зерна в чугуне и росту механических свойств последних. На широкой номенклатуре чугунов при их модифицировании в ковш под струю расплава и внутриформенном модифицировании исследовано влияние порошковых псевдолигатур Al-Ti-Mg. Установлена высокая модифицирующая способность нового модификатора [13].

Технология наномодифицирования является «чистым» модифицированием, поскольку управляет только процессами зарождения, роста и развития центров кристаллизации (графитизации). Она не несет в себе функции легирования, раскисления, дегазации, десульфурации, которые характерны для многих типов применяемых комплексных присадок на основе магния и многокомпонентных лигатур [14].

В связи с этим использование высокоактивных нанодисперсных веществ, к которым относятся и все виды наноструктурированного углерода, в качестве модифицирующих добавок является перспективным с позиции получения материалов, обладающих сочетанием высоких механических и эксплуатационных характеристик [15–16].

Целью данной работы является исследование первичной структуры серых чугунов, полученных с использованием комплексных модификаторов, содержащих наноуглеродные компоненты.

**Основная часть.** При разработке комплексных модификаторов серого чугуна в рамках данной работы в качестве базового графитизирующего модификатора был выбран широко используемый на практике ферросиликобариевый модификатор ФС65Ба4 для инокулирующего модифицирования серого, высокопрочного и чугуна с вермикулярным графитом. Он значительно эффективнее традиционно используемого для этой же цели ферросилиция ФС75.

В качестве наноуглеродных компонентов использовали фуллереносодержащую сажу. С целью обеспечения усвоения высокодисперсных углеродных частиц расплавом в качестве добавок в составе комплексного модификатора применяли прессованные алюминийкремниевые лигатуры, содержащие наноуглеродные



компоненты. При этом известна высокая эффективность алюминия в составах модификаторов длительного действия [17], что определяет целесообразность его использования.

Образцы лигатур готовили путем предварительной механоактивации в шаровых мельницах измельченной стружки силумина АЛ9 и фуллереносодержащей сажи с последующим экструдированием лигатур Al-Si-C с расчетом содержания в них 10 мас. % углерода [18]. Используемые углеродные материалы были получены на оборудовании ООО «Физтехприбор» на базе Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург.

В составе смесового модификатора использовали лигатуру Al-Si-C в количестве 30% по отношению к базовому графитизирующему модификатору.

Исследование влияния разрабатываемых модификаторов на структурообразование проводили с использованием чугуна индукционной плавки, выплавленного с использованием чугунного лома марки СЧ20 с получением стабильного базового химического состава, %: С – 3,3–3,5, Si – 1,4–2,0, Mn – 0,6–0,7, P – до 0,1, S – до 0,15. Модификатор в количестве 0,4% от массы расплава помещался на дно предварительно разогретого графито-шамотного тигля, в который заливали расплав серого чугуна при температуре 1360–1400°C. Температура контролировалась многоканальным регистратором РМТ 39D, подключенным к ПК. Производили отбор проб для исследования структуры и показателей свойств.

Применяемые в настоящее время методы металлографического анализа ограничиваются обычно оценкой количества, формы и расположения включений графита, структуры металлической основы и фосфидной эвтектики. Обычные стандартные определения недостаточны для полной характеристики структуры, которая является главным фактором, определяющим свойства чугуна. Большое значение имеют также величина эвтектического зерна и характеристика первичного (предэвтектического) аустенита. В отношении этих характеристик имеется еще очень мало данных, и они часто противоречивы. Вторичная структура, которая обычно наблюдается под микроскопом, изучена более полно.

Для выявления первичной структуры требуются специальные методы травления смесью борной и серной кислот с многократным полированием.

Для выявления эвтектического зерна использовали реактив следующего состава:  $\text{CuSO}_4$ , пикриновая кислота, концентрирован-

ная HCl, этиловый спирт. Количество зерен подсчитывали на  $1 \text{ см}^2$  площади шлифа.

В зависимости от эффективности действия модификатора различают модифицированный и псевдомодифицированный чугун. Модифицированным следует считать чугун, в котором модификатор полностью устраняет междендритную ориентацию графита, псевдомодифицированный – чугун, в котором после модифицирования остается некоторое количество междендритного графита.

Первичная структура в процессе кристаллизации чугуна образуется в два этапа: выделение предэвтектического (первичного) аустенита и эвтектическое превращение. Фазами первичной структуры являются предэвтектический (первичный) аустенит и колонии эвтектики, состоящие в свою очередь из аустенита и графита.

При эвтектической кристаллизации чугуна количество имеющихся при данном переохлаждении активных зародышей определяет количество эвтектических зерен. Формирование эвтектического зерна – конечный процесс первичной кристаллизации. Контуры зерна обрисовываются застывшими в последний момент участками более легкоплавких примесей, оттесненных в процессе кристаллизации на границы между срастающимися зернами, растущими из определенных центров.

Исследования первичной структуры немодифицированного и модифицированных чугунов показали высокую эффективность разрабатываемых модификаторов (рис. 1).

В немодифицированном чугуне ярко выражена дендритная структура с экзогенными и частично эндогенными дендритами по всей поверхности шлифа.

При обработке чугуна стандартным модификатором присутствует сетка экзогенных дендритов, проходящих через площадь шлифа, на фоне равномерно распределенных включений графита.

В образце чугуна, полученного обработкой комплексным модификатором, содержащим нанокремниевые компоненты, дендриты не обнаруживаются, а количество и размер графических включений значительно увеличились. Добавка эффективна. Крупные включения графита растут из одного центра (розеточный графит), который представляет собой эвтектические зерна, имеющие границы.

Также эффективность модифицирования оценивалась по числу эвтектических зерен при заливке в форму сразу после модифицирования (рис. 2, а–в) и после выдержки металла в ковше 15 мин (рис. 2, г–д).

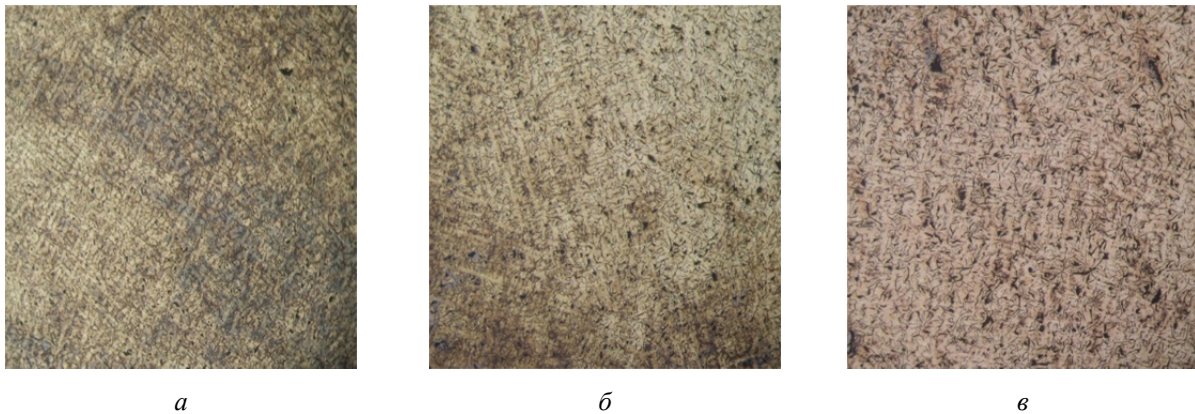


Рис. 1. Дендриты первичного аустенита немодифицированного (*a*) и модифицированного FC65Ba4 (*б*), FC65Ba4+C+Al+Si (*в*) серого чугуна ( $\times 50$ )

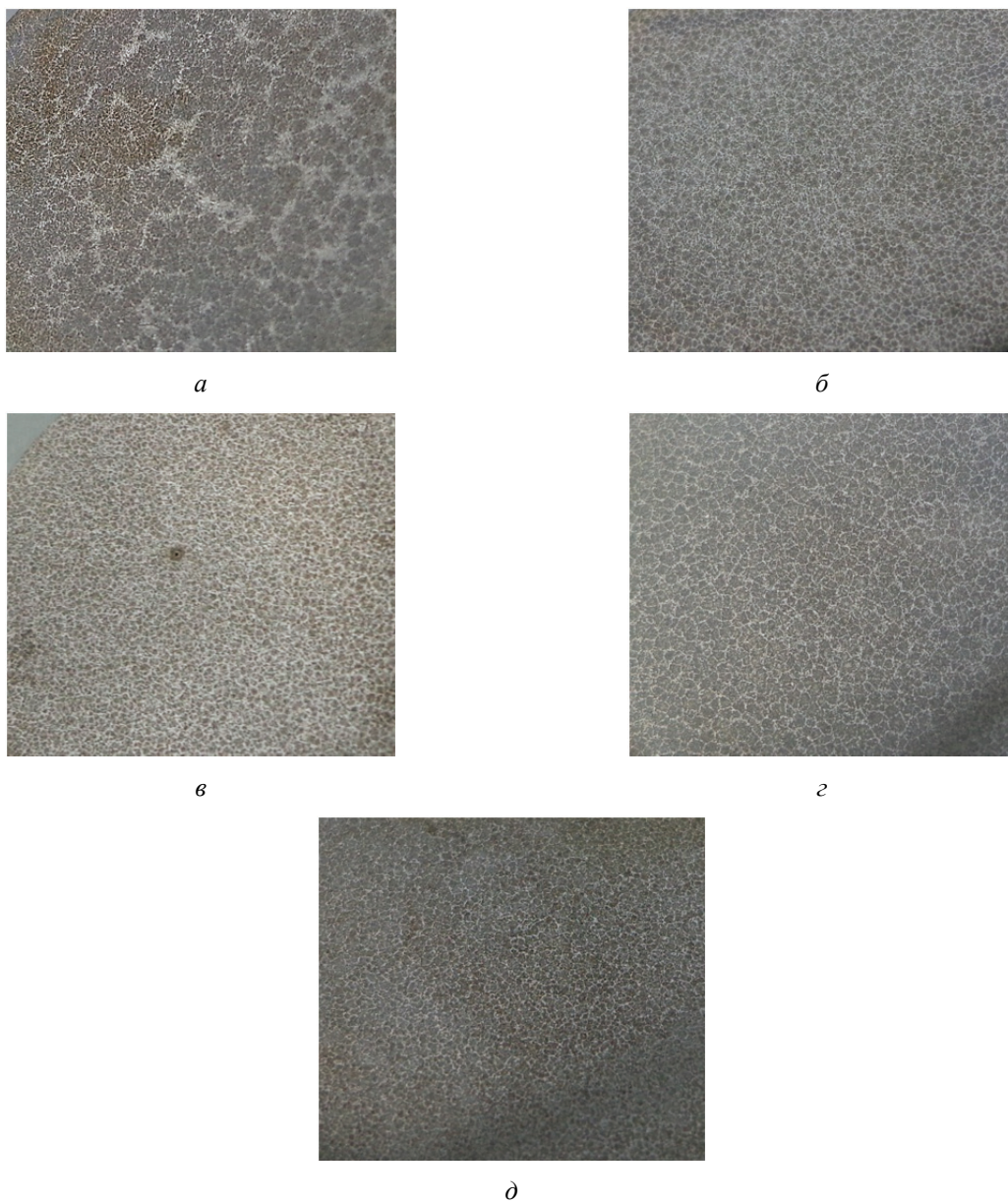


Рис. 2. Эвтектические зерна немодифицированного (*a*) и модифицированного FC65Ba4 (*б*), модифицированного FC65Ba4 + лигатура (*в*), модифицированного FC65Ba4 + выд. 15 мин (*з*), модифицированного FC65Ba4 + лигатура + выд. 15 мин (*д*) серого чугуна

При введении модификатора резко увеличивается число центров кристаллизации при эвтектическом превращении, что приводит к значительному измельчению эвтектического зерна. Одновременно в связи с уменьшением переохлаждения укрупняется графит. Подсчет количества эвтектических зерен чугуна модифицированного показал: у исходного образца – 186 шт/см<sup>2</sup>, при заливке в форму сразу после модифицирования количество эвтектических зерен в модифицированном ФС65Ba4 чугуна составляет 273 шт/см<sup>2</sup>, при введении лигатуры количество зерен – 432 шт/см<sup>2</sup>, с течением времени стандартный модификатор теряет свою «живучесть», но использование его в комплексе с лигатурой увеличивает время его действия и сохраняет эффект модифицирования [17], это

подтверждают результаты исследований. После 15 мин выдержки расплава в разливочном ковше количество эвтектических зерен образца, модифицированного ФС65Ba4, значительно снижается – 218 шт/см<sup>2</sup>, а использование комплексного модификатора дает увеличение количества зерен – 496 шт/см<sup>2</sup>.

**Заключение.** Использование комплексного модификатора, включающего в себя стандартный модификатор ФС65Ba4 и полученную лигатуру, состоящую из алюминия и фуллереновой сажи, показало высокую эффективность разрабатываемых модификаторов. Об этом свидетельствует увеличение количества эвтектических зерен и отсутствие ярко выраженной дендритной структуры по сравнению с немодифицированным чугуном и модифицированным ФС65Ba4.

### Литература

1. Гольдштейн Я. Е., Мизин В. Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986. 272 с.
2. Панов А. Г. Метод повышения стабильности результатов модифицирования графитизированных чугунов // Литейщик России. 2010. № 8. С. 17–19.
3. Александров Н. Н. Высококачественные чугуны для отливок. М.: Машиностроение, 1982. 222 с.
4. Леках С. Н., Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. Минск: Навука і тэхніка, 1992. 269 с.
5. Худокормов Д. Н. Производство отливок из чугуна. Минск: Вышэйшая школа, 1987. 300 с.
6. Гурин С. С. Литейные сплавы. Минск: РУП «РУПИС», 2000. 193 с.
7. Гольдштейн Я. Е., Мизин В. Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М., 1986. 246 с.
8. Худокормов Д. Н., Леках С. Н., Бестужев Н. И. Графитизирующее модифицирование чугунов кремнийсодержащими присадками // Изв. вузов. Черная металлургия. 1987. № 3. С. 111–114.
9. Чугун: справ. изд. / под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. М.: Металлургия, 1991. 576 с.
10. Гини Э. Ч. Литейное производство в XX веке. Анализ итогов // Литейное производство. 2002. № 7. С. 6–8; 2002. № 8. С. 4–9; 2004. № 5. С. 2–3.
11. Литейное производство в России / Баландин Г. Ф. [и др.] // Справочник. Инженерный журнал. 2000. № 6. С. 11–14; 2000. № 7. С. 22–24.
12. Болдырев Д. А., Чайкин А. В. Новые смесевые модификаторы для инокулирующей обработки чугунов // Литейщик России. 2007. № 3. С. 32–36.
13. Повышение качества чугунных отливок с помощью нанопорошков / Крушенко Г. Г. [и др.] // Металлургия машиностроения. 2002. № 2 (9). С. 20–21.
14. Давыдов С. В. Технология наномодифицирования доменных и ваграночных чугунов // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 2. С. 3–9.
15. Колокольцев С. Н. Углеродные материалы. Свойства, технологии, применение. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. 290 с.
16. Мищенко С. В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
17. Писаренко Л. З. Модификатор длительного действия // Литье и металлургия. 2006. № 2. С. 84–90.
18. Волочко А. Т., Шегидевич А. А., Куис Д. В. Формирование структуры и свойств композитов, полученных при обработке алюминиевого расплава лигатурами, содержащими стеклоподобные углеродные частицы // Композиты и наноструктуры. 2014. Т. 6, № 2. С. 2–13.

### References

1. Goldstein Ya. E., Mizin V. G. *Modifitsirovaniye i mikrolegirovaniye chuguna i stali* [Modification and microalloying of iron and steel.] Moscow, Metallurgiya Publ., 1986. 272 p.
2. Panov A. G. Method of increasing the stability of the results of the modification of graphitized cast irons. *Liteyshchik Rossii* [Foundry of Russia], 2010, no. 8, pp. 17–19 (In Russian).

3. Alexandrov N. N. *Vysokokachestvennyye chuguny dlya otlivok* [High-quality cast iron for castings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 222 p.
4. Lekakh S. N., Bestuzhev N. I. *Vnepechnaya obrabotka vysokokachestvennykh chugunov v mashinostroyeni* [Out-of-furnace treatment of high-quality cast irons in machine-building.]. Minsk, Navuka i tehnika Publ., 1992. 269 p.
5. Khudokormov N. *Proizvodstvo otlivok iz chuguna* [Production of cast iron]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1987. 300 p.
6. Gurin S. S. *Liteynye splavy* [Foundry alloys]. Minsk, RUP "RUPIS" Publ., 2000. 193 p.
7. Goldstein Ya. E., Mizin V. G. *Modifitsirovanie i mikrolegirovanie chuguna i stali* [Modification and microalloying of iron and steel]. Moscow, 1986. 246 p.
8. Khudokormov D. N., Lekakh S. N., Bestuzhev N. I. Graphitizing modification of cast iron with silicon-containing additives. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Universities news. Ferrous metallurgy], 1987, no. 3, pp. 111–114 (In Russian).
9. *Chugun* [Cast iron]. Ed. A. D. Sherman, A. A. Zhukov. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991. 576 p.
10. Gini E. Ch. Foundry production in the XX century. Analysis of the results. *Liteynoye proizvodstvo* [Foundry production], 2002, no. 7, pp. 6–8; 2002, no. 8, pp. 4–9; 2004, no. 5, pp. 2–3 (In Russian).
11. Balandin G. F. et al. Foundry production in Russia. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal* [Engineering magazine], 2000, no. 6, pp. 11–14; 2000, no. 7, pp. 22–24 (In Russian).
12. Boldyrev D. A., Chaikin A. V. New mixing modifiers for inoculation processing of cast iron. *Liteyshchik Rossii* [Foundry of Russia], 2007, no. 3, pp. 32–36 (In Russian).
13. Krushenko G. G. et al. Improving the quality of iron castings using nanopowders. *Metallurgiya mashinostroyeniya* [Metallurgy of mechanical engineering], 2002, no. 2 (9), pp. 20–21 (In Russian).
14. Davydov S. V. Technology of nanomodification of blast-furnace and cupola iron. *Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyeni* [Procuring production in mechanical engineering], 2005, no. 2, pp. 3–9 (In Russian).
15. Kolokoltsev S. N. *Uglerodnye materialy. Proizvodstvo, svoystva, primeneniye* [Carbon materials. Properties, technologies, applications]. Dolgoprudnyy, Izdatelskiy Dom "Intellekt" Publ., 2012. 290 p.
16. Mishchenko S. V. *Uglerodnyye nanomaterialy. Svoystva, tehnologii, primeneniye* [Carbon nanomaterials. Production, properties, application]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 2008. 320 p.
17. Pisarenko L. Z. The modifier of long action. *Lit'ye i metallurgiya* [Casting and metallurgy], 2006, no. 2, pp. 84–90 (In Russian).
18. Volochko A. T., Shegidevich A. A., Kuis D. V. Formation of the structure and properties of composites obtained by treating an aluminum melt with ligatures containing glass-like carbon particles. *Kompozity i nanostruktury* [Composites and nanostructures], 2014, vol. 6, no. 2, pp. 2–13 (In Russian).

### Информация об авторах

**Раковец Антон Сергеевич** – аспирант кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonrakovez@mail.ru

**Куйс Дмитрий Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: KuisDV@belstu.by

**Свидуневич Николай Александрович** – доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Svidunovich@belstu.by

**Волочко Александр Тихонович** – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией микрокристаллических и аморфных материалов. Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси (220141, г. Минск, ул. Купревича, 10, Республика Беларусь). E-mail: volochkoat@mail.ru

**Лежнев Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия и горное дело». Рудненский индустриальный институт (220141, Костанайская область, г. Рудный, ул. 50 лет Октября, 38, Республика Казахстан). E-mail: sergey\_legnev@mail.ru

**Information about the authors**

**Rakovets Anton Sergeevich** – PhD student, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonrakovez@mail.ru

**Kuis Dmitriy Valer'yevich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: KuisDV@belstu.by

**Svidunovich Nikolay Alexandrovich** – DSc (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: mitm@belstu.by

**Volochko Aleksandr Tihonovich** – DSc (Engineering), Professor, Head of the Laboratory Microcrystalline and Amorphous Materials. Physical Engineering Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (10, Kuprevicha str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: volockoat@mail.ru

**Lezhnev Sergey Nikolaevich** – PhD (Engineering), Associate Professor, the Department of Metallurgy and Mining. Rudny Industrial Institute (38, 50 let Oktyabrya str., 220141, Kostanay region, Rudny, Republic of Kazakhstan). E-mail: sergey\_legnev@mail.ru

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>Зорин В. П., Севрук П. В.</b> Роль модельных лесов в совершенствовании лесной сертификации PEFC.....	5
<b>Комар А. Ю.</b> Просторава-часавыя змены ляснога фонду 300-мятравой зоны вакол МКАД.....	11
<b>Коцан В. В., Севко О. А.</b> Динамика радиального прироста сосновых древостоев с различной пространственной структурой и условиями произрастания.....	16
<b>Машковский В. П., Севрук П. В.</b> Автоматизация процесса определения порядка назначения древостоев в сплошнолесосечную рубку.....	20
<b>Севко О. А., Пастушенко М. С.</b> Методика наполнения данными транспортной задачи по оптимизации перевозки круглых лесоматериалов.....	27
<b>ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО.....</b>	<b>33</b>
<b>Гарбарук Д. К., Углянец А. В., Воронцовская А. Н.</b> Естественное возобновление леса на прогалинах в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС.....	33
<b>Климчик Г. Я., Бельчина О. Г.</b> Методология исследования различных компонентов лесного фитоценоза для расчета углеродных потоков.....	43
<b>Луфферов А. О.</b> Лесоводственная эффективность последующего естественного возобновления сосны обыкновенной на не покрытых лесом землях.....	49
<b>Рожков Л. Н., Шатравко В. Г.</b> Влияние традиционной лесохозяйственной деятельности на содержание питательных элементов и углеродные потоки в насаждениях <i>Pineta – Piceeta oxalidosa – pleuroziosa – pteridiosa – myrtillosa</i> .....	58
<b>Рожков Л. Н., Шатравко В. Г.</b> Углеродный баланс на этапе формирования молодого насаждения в связи со способом главной рубки леса.....	66
<b>Сарнацкий В. В.</b> Основные лесохозяйственные мероприятия по формированию, повышению продуктивности и оздоровлению еловых древостоев в условиях Беларуси.....	74
<b>Сцепановіч І. М.</b> Аднаўленчыя сукцэсіі дрэвава-хмызняковай расліннасці на лугах, балотах і постсялібных тэрыторыях Беларусі.....	82
<b>Сцепановіч І. М.</b> Інвазійны патэнцыял сінантропнага кампанента хваёвых лясоў Беларусі.....	90
<b>Юшкевич М. В.</b> Оптимизация структуры земель лесного фонда Беларуси.....	99
<b>ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>104</b>
<b>Асмоловский М. К., Ярошук М. В.</b> Конструктивные и технологические особенности посева семян хвойных пород в открытый грунт.....	104
<b>Кондратов Е. В., Торчик В. И.</b> Влияние возраста привоя на приживаемость и морфометрические параметры однолетних привитых растений спонтанной соматической мутации <i>Pinus sylvestris</i> L.....	109
<b>Соколовский И. В.</b> Культуры дуба черешчатого на дерново-подзолистой суглинистой почве.....	114
<b>ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО.....</b>	<b>119</b>
<b>Метельский А. А.</b> Парки Заушья.....	119
<b>Сазонов А. А., Звягинцев В. Б.</b> Анализ структуры лесозащитных мероприятий в очагах сосновой корневой губки.....	126
<b>Халикова О. В., Исянюлова Р. Р.</b> Организация благоустройства и озеленения территории городского округа города Уфа.....	132

<b>ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО .....</b>	<b>138</b>
Гордей Д. В., Морозов О. В., Терёшкина Н. В. Вариабельность форм голубики узколистной по высоте и диаметру горизонтальной проекции кроны кустов, максимальной длине, окраске и опушению побегов в Белорусском Поозерье .....	138
Гулаков А. В., Пенькевич В. А., Саевич К. Ф. Структура паразитоценоза и удельная активность радионуклидов в организме волка, обитающего на территории зоны отчуждения .....	144
Козорез А. И., Гуринович А. В. Непреодолимые противоречия зимнего маршрутного учета диких животных .....	149
Мигренков А. М. Анализ использования вольеров в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь .....	156
Шапорова Я. А., Шабашова Т. Г., Беломесяцева Д. Б., Юрченко Е. О. Охраняемые и редкие виды макромицетов на территории национального парка «Беловежская пуца» .....	161
Юшкевич Н. Т., Деруго А. Д. Полоцкий учебно-опытный лесхоз: состояние, проблемы, перспективы развития .....	165
<b>ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ</b>	<b>170</b>
Вавилов А. В., Лабанов Е. А. Эффективное рабочее оборудование для расчистки полосы отвода дорог от древесной растительности и производства мульчи .....	170
Голякевич С. А. Имитационное моделирование технологического оборудования форвардера как мехатронной системы .....	174
Арико С. Е., Кононович Д. А., Мохов С. П. Результаты анализа эффективности применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов .....	181
Исаченков В. С., Симанович В. А. К вопросу оценки эффективности работы колесной трелевочной машины на почвогрунтах со слабой несущей способностью .....	191
Мисуню Ю. И., Протас П. А. Влияние показателей взаимодействия движителей с лесными почвогрунтами на параметры технологических элементов лесосеки .....	197
Давиданс М., Савельев А., Арико С. Е., Липиньш Л., Симанович В. А. Влияние физических параметров поленьев каминных дров на плотность их укладки в упаковку .....	204
Савельев А., Арико С. Е., Протас П. А., Петерсонс Я., Зимелис А. Структурный баланс лесных энергоресурсов для энергетики Беларуси и Латвии .....	209
Хорошун Н. В., Насковец М. Т. Обоснование параметров рабочего органа для скашивания древесно-кустарниковой растительности .....	215
<b>ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....</b>	<b>220</b>
Шетько С. В., Игнатович Л. В., Гайдук С. С., Чуйков А. С., Журавский Н. А. Исследование адгезионных характеристик модифицированных лакокрасочных составов для защитно-декоративных покрытий термоуплотненной древесины мягколиственных пород .....	220
Бовтрель А. Ю., Божелко И. К. Биовлагозащитная обработка древесины и деревянных строительных конструкций .....	227
Гайдук С. С., Касперович Т. А. Оценка физико-механических показателей лакокрасочных покрытий древесины .....	232
Федосенко И. Г., Чесновский Е. В. Применение эхо-метода для прогнозирования качественных характеристик древесины основных строительных пород .....	238
Веретиков И. И. Сравнительный анализ прочностных показателей фанерной продукции при изучении температурно-влажностного воздействия путем применения стандартного и неразрушающего методов контроля .....	242
<b>ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА .....</b>	<b>247</b>
Азовская Н. О., Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Риски облучения работников лесного комплекса Беларуси при использовании радиоактивно загрязненных ресурсов .....	247
Карпович С. С., Рапинчук Л. А., Левитан В. Б., Раковец А. С., Карпович С. И. Повышение ресурса и эффективности использования ножей рубильных машин .....	255
Volchok I. P., Belsky S. E., Blakhin A. V., Tsaruk F. F., Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srouer. Improvement of mechanical characteristics of secondary aluminum alloys laser processing .....	261

<b>Сухоцкий А. Б., Данильчик Е. С., Карлович Т. Б., Фарафонов В. Н.</b> Влияние внешнего загрязнения биметаллической круглорезистой трубы на свободноконвективный теплообмен.....	266
<b>Сухоцкий А. Б., Данильчик Е. С.</b> Исследование свободноконвективного теплообмена оребренной трубы и однорядного пучка при различных углах наклона труб к горизонтальной плоскости .....	272
<b>Гаранин В. Н., Болочко Д. Л.</b> Определение взаимосвязи касательной составляющей силы резания и увеличения звукового давления при фрезеровании сосны.....	280
<b>Аникеенко А. Ф., Машоринова Т. А.</b> Новая конструкция сверла сборного для обработки ламинированных древесностружечных плит .....	285
<b>Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Алифировец Г. В.</b> Новая конструкция адаптивной фрезы сборной для профиляторов линий агрегатной переработки .....	290
<b>Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Болочко Д. Л.</b> Увеличение периода стойкости ножей самозатачиванием их лезвий.....	294
<b>Клепацкий И. К., Раповец В. В.</b> Динамика потери режущей способности лезвий малоножевых фрез при агрегатной переработке древесины.....	298
<b>Гриневич С. А., Алифировец Г. В.</b> Экспериментальная установка для изучения процесса фрезерования с получением технологической щепы .....	303
<b>Ширко А. В., Гриневич С. А., Лукаш В. Т.</b> Моделирование затупления зубьев дисковых пил .....	307
<b>Раковец А. С., Куис Д. В., Свидуневич Н. А., Волочко А. Т., Лежнев С. Н.</b> Особенности влияния наноструктурированных графитизирующих модификаторов на первичную структуру серого чугуна.....	311



# CONTENTS

---

<b>FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY .....</b>	<b>5</b>
<b>Zorin V. P., Sevruk P. V.</b> The role of model forests in improving forest certification PEFC.....	5
<b>Komar A. Yu.</b> Space-time changes in the forest fund of the 300-meter zone around the Minsk ring road.....	11
<b>Kotsan V. V., Sevko O. A.</b> Dynamics of radial growth of pine forests with various spatial structure and growing conditions.....	16
<b>Mashkovsky V. P., Sevruk P. V.</b> Automation of the process of determining priorities of stands in to clear cutting .....	20
<b>Sevko O. A., Pastushenko M. S.</b> The methodology for the provisioning of the transportation problem to optimize the transport of round timber .....	27
<b>FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE .....</b>	<b>33</b>
<b>Garbaruk D. K., Uglyanets A. V., Voronetskaya A. N.</b> Natural forests regeneration on glades of the Chernobyl NPP exclusion zone .....	33
<b>Klimchik G. Ya., Belchyna O. G.</b> Research methodology of different components forest phyto- cenosis for calculation of carbon flows.....	43
<b>Luferov A. O.</b> Sylvicultural efficiency of the subsequent natural regeneration of <i>Pinus sylvestris</i> on forest uncovered lands .....	49
<b>Rozhkov L. N., Shatravko V. G.</b> The influence of traditional forestry activity on nutrient elements content and carbon flows in <i>Pineta – Piceeta oxalidosa – pleuroziosa – pteridiosa – myrtillosa</i> <i>stands</i> .....	58
<b>Rozhkov L. N., Shatravko V. G.</b> Carbon balance at the stage of young stands formation in relation to the method of the final felling .....	66
<b>Sarnatski V. V.</b> The main forestry practices for forming, increasing of productivity and im- provement spruce stands in the conditions of Belarus.....	74
<b>Stepanovich I. M.</b> The regenerative successions of trees and shrubs of vegetation on meadows, marshes and former residential areas of Belarus.....	82
<b>Stepanovich I. M.</b> The invasive potential of synanthropic components of pine forests in Belarus .....	90
<b>Yushkevich M. V.</b> Optimization of the structure of forest lands of Belarus .....	99
<b>FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING.....</b>	<b>104</b>
<b>Asmalouski M. K., Jarashuk M. V.</b> Constructive and technological features of seeding for- est seeds of coniferous breeds in open ground.....	104
<b>Kandratau Ya. V., Torchyk U. I.</b> The effect of age of graft on the survival rate and mor- phometric parameters of one-year grafted plants of the spontaneous somatic mutation of <i>Pinus</i> <i>syvestris</i> L.....	109
<b>Sokolovskiy I. V.</b> Oak plantings on sod-podzolic loamy soil .....	114
<b>FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING .....</b>	<b>119</b>
<b>Metel'ski A. A.</b> Parks of Zaush'ye.....	119
<b>Sazonov A. A., Zviagintsev V. B.</b> Analysis of the forest protective activities structure in the ori- gins of pine root rot.....	126
<b>Khalikova O. V., Isyanyulova R. R.</b> Organization of improvement and planting of the territory district of Ufa of the city.....	132

<b>TOURISM AND FOREST HUNTING.....</b>	<b>138</b>
<b>Gordey D. V., Morozov O. V., Tereshkina N. V.</b> Variability of the forms of sweet lowbush blueberry on height and diameter of the horizontal projection of the bush crown, maximum length, color and glabrous of stems in the Belarusian Lakeland.....	138
<b>Gulakov A. V., Pen'kevich V. A., Saevich K. F.</b> Structure of parasitocenosis and specific activity of radionuclides in the organism of the wolf inhabiting in the territory of the exclusion zone.....	144
<b>Kazarez A. I., Hurynovich A. U.</b> Insurmountable contradictions of winter route census of wildlife.....	149
<b>Mitrenkov A. M.</b> Analysis of the use of open-air cages in the hunting farms of the Republic of Belarus.....	156
<b>Shapороva Ya. A., Shabashova T. G., Belomesyatseva D. B., Yurchenko E. O.</b> Protected and rare species of macromycetes on the territory of the national park "Belovezhskaya pushcha".....	161
<b>Yushkevich N. T., Derugo A. D.</b> Polotsk training and experimental forestry: condition, problems, prospects.....	165
<b>TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS .....</b>	<b>170</b>
<b>Vavilov A. V., Labanov E. A.</b> Efficient working equipment for clearing the right-of-way from woody vegetation and mulch production.....	170
<b>Golyakevich S. A.</b> Imitation modeling of technological forwarder equipment as a mechatronic system.....	174
<b>Ariko S. Ye., Kononovich D. A., Mokhov S. P.</b> Results of analysis of the efficiency of application complex machines for collection and transportation forest residues.....	181
<b>Isachenkov V. S., Simanovich V. A.</b> To question of estimation of efficiency of work of the skidder on soils with weak bearing strength.....	191
<b>Misuno Yu. I., Protas P. A.</b> The influence of indicators of the interection of mover with forest soils on the parametrs of the technological elements of the cutting area.....	197
<b>Davidans M., Saveljev A., Ariko S. Ye., Lipins L., Simanovich V. A.</b> Influence of physical parameters of firewood logs on their packing density.....	204
<b>Saveljev A., Ariko S. Ye., Protas P. A., Petersons J., Zimelis A.</b> Structural balance of forest energy resources for energy of Belarus and Latvia.....	209
<b>Khoroshun N. V., Naskovets M. T.</b> Justification of parameters of the working body for cutting woody and bush vegetation.....	215
<b>WOODWORKING INDUSTRY .....</b>	<b>220</b>
<b>Shet'ko S. V., Ignatovich L. V., Haiduk S. S., Chuikov A. S., Zhuravskiy N. A.</b> Study of the adhesion characteristics of the modified paint compositions for protective and decorative coatings of heat-strengthened soft-leaved wood.....	220
<b>Bovtreľ A. Yu., Bozhelko I. K.</b> Biological protection processing of wood and wood construction structures.....	227
<b>Haiduk S. S., Kasperovich T. A.</b> Assessment of physical and mechanical indicators of wood paint coatings.....	232
<b>Fedosenko I. G., Chesnovskii E. V.</b> Application of the echo-method to predict the performance characteristics of wood of the main construction species.....	238
<b>Veretikov I. I.</b> Comparative analysis of the strength indicators of plywood products when studying the temperature and moisture exposure by using the standard and non-destructive control methods.....	242
<b>ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX .....</b>	<b>247</b>
<b>Azovskaya N. O., Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A.</b> Radiation risks of workers in the forest complexes of Belarus when using radioactively polluted resources.....	247
<b>Karpovich S. S., Rapinchuk L. A., Levitan V. B., Rakovets A. S., Karpovich S. I.</b> Resource increase and efficiency of the use of knives of running machines.....	255
<b>Volchok I. P., Belsky S. E., Blakhin A. V., Tsaruk F. F., Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srour.</b> Improvement of mechanical characteristics of secondary aluminum alloys with treatment.....	261

---

<b>Sukhotski A. B., Danil'chik E. S., Karlovich T. B., Farafontov V. N.</b> Influence of external contamination bimetallic round-bridge tube for free-convective heat exchange.....	266
<b>Sukhotski A. B., Danil'chik E. S.</b> Research of free-convective heat exchange finned tube and single-range bunch at different angle of tubes towards horizontal plane.....	272
<b>Garanin V. N., Bolochko D. L.</b> Determination of interrelation of the tangent being force of cutting and increase in sound pressure when milling the pine.....	280
<b>Anikeenko A. F., Mashoripova T. A.</b> New design of precast drill for machining of laminated chipboards.....	285
<b>Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Alifirovets G. V.</b> The new design of the adaptive mill for profilers of aggregate processing lines.....	290
<b>Grishkevich A. A., Garanin V. N., Bolochko D. L.</b> Increasing the period of stability of knives by self shaping of their blades.....	294
<b>Klepatski I. K., Rapovets V. V.</b> Dynamics of loss of cutting ability of blades of small-cutter mills of aggregate processing of wood .....	298
<b>Grinevich S. A., Alifirovets G. V.</b> Experimental facility to study the milling process with production of technological chips .....	303
<b>Shirko A. V., Grinevich S. A., Lukash V. T.</b> Modeling of the blunting of the teeth of circular saw blades .....	307
<b>Rakovets A. S., Kuis D. V., Svidunovich N. A., Volochko A. T., Lezhnev S. N.</b> Features of the effect of nanostructured graphitizing modifiers on the primary structure of gray cast iron .....	311

Редактор *Р. М. Рябая, Т. Е. Самсанович, О. П. Приходько*  
Компьютерная верстка: *Е. В. Ильченко, А. А. Селиванова, О. А. Солодкевич*  
Корректор *Р. М. Рябая, Т. Е. Самсанович, О. П. Приходько*

Подписано в печать 24.07.2019. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 37,7. Уч.-изд. л. 40,4.  
Тираж 100 экз. Заказ 288.

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.