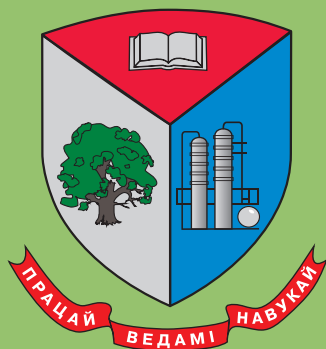


ISSN 2519-402X



# ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

---

Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ  
И ПЕРЕРАБОТКА  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 1 (216) 2019 год

---

**Рубрики номера:**

Управление лесами, лесоустройство  
и информационные системы  
в лесном хозяйстве

Лесная экология и лесоводство

Лесовосстановление и лесоразведение

Лесозащита и садово-парковое строительство

Лесопромышленный комплекс.

Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность

Общеинженерные вопросы  
лесопромышленного комплекса

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**

**№ 1 (216) 2019 год**

*Выходит два раза в год*

Минск 2019

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

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

**Редакционная коллегия журнала:**

Дормешкин О. Б., доктор технических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;  
Жарский И. М., кандидат химических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;  
Кунтыш В. Б., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Прокопчук Н. Р., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Водопьянов П. А., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор философских наук, профессор, Республика Беларусь;  
Новикова И. В., доктор экономических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Наркевич И. И., доктор физико-математических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;  
Долгова Т. А., кандидат физико-математических наук, доцент, Республика Беларусь;  
Захарук Т., доктор педагогических наук, профессор, Республика Польша;  
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;  
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;  
Жантасов К. Т., доктор технических наук, профессор, Республика Казахстан;  
Харша Ратнавир, 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;  
Усень В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;  
Коробко Е. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Вавилов А. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Бир Петр, доктор технических наук, профессор, Республика Польша;  
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;  
Савельев А. Г., доктор технических наук, профессор, Латвийская Республика;  
Балтрушайтис Антанас, кандидат технических наук, Литовская Республика;  
Онегин В. И., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, Российская Федерация;  
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;  
Богданович Н. И., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;  
Игнатович Л. В., кандидат технических наук, доцент (ответственный секретарь), Республика Беларусь;  
Гордей Д. В., кандидат биологических наук (секретарь), Республика Беларусь.

**Адрес редакции:** ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

Телефоны: главного редактора журнала – (+375 17) 226-14-32;

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

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

Свидетельство о государственной регистрации средств массовой информации  
№ 1329 от 23.04.2010, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

Журнал включен в «Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований»

Educational institution  
“Belarusian State Technological University”

# PROCEEDINGS OF BSTU

**Scientific Journal**

*Published monthly since July 1993*

**Issue 1**

**FORESTRY.  
NATURE MANAGEMENT.  
PROCESSING OF RENEWABLE  
RESOURCES**

**No. 2 (216) 2019**

*Published biannually*

Minsk 2019

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

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

**Editorial (Journal):**

Dormeshkin O. B., DSc (Engineering), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;  
Zharskiy I. M., PhD (Chemistry), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;  
Kuntyshev V. B., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;  
Prokopchuk N. R., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Republic of Belarus;  
Vodop’yanov P. A., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Philosophy), Professor, Republic of Belarus;  
Novikova I. V., DSc (Economics), Professor, Republic of Belarus;  
Narkevich I. I., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Republic of Belarus;  
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;  
Dolgova T. A., PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Republic of Belarus;  
Zakharuk T., DSc (Pedagogics), Professor, Republic of Poland;  
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;  
Barcik 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;  
Saeovich 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;  
Barcik 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;  
Bashkirov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;  
Bogdanovich N. I., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;  
Ignatovich L. V., PhD (Engineering), Associate Professor (executive editor), Republic of Belarus;  
Gordey D. V., PhD (Biology) (secretary), Republic of Belarus.

**Contact:** 13a, Sverdlova str., 220006, Minsk.

Telephones: editor-in-chief (+375 17) 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 528.8:630\*182.48

**А. Н. Червань<sup>1</sup>, М. Л. Романова<sup>2</sup>, В. Л. Андреева<sup>3</sup>, И. А. Ефимова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>РУП «Институт почвоведения и агрохимии»

<sup>2</sup>Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси

<sup>3</sup>Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка

<sup>4</sup>Белорусский государственный университет

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИСТЕМНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ОТНОШЕНИИ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Отсутствие единой пространственной единицы, инварианта с системным характером распространения в методиках учета, оценки и мониторинга природных ресурсов затрудняет рациональное природопользование на всех административных уровнях хозяйствования. Почвенные комбинации, являющиеся подсистемами геосистем и обладающие детерминированной местными природными условиями структурой, позволяют провести качественный учет природно-ресурсного потенциала с последующей оценкой и мониторингом, прогнозирование экологических и экономических рисков. В свете активно внедряемых в практику ГИС-технологий геосистемный подход имеет особые преимущества, так как принципы построения объектно-ориентированных баз данных в среде ArcInfo тесно связаны с природной организацией структуры почвенного покрова любой территории.

**Ключевые слова:** геосистема, почвенная комбинация, структура почвенного покрова, оценка потенциала земельных ресурсов, оценка потенциала лесных ресурсов.

**A. N. Chervan<sup>1</sup>, M. L. Romanova<sup>2</sup>, V. L. Andreeva<sup>3</sup>, I. A. Efimova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>RUE "Institute of Soil Science and Agrochemistry"

<sup>2</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of National Academy of Science of Belarus

<sup>3</sup>Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

<sup>4</sup>Belarusian State University

## **GEOSYSTEM APPROACH USING FOR ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE TOPSOIL COVER IN AGRICULTURE AND FORESTRY**

The absence of unified spatial unit, invariant with its systematical distribution in methods of account, estimation and monitoring of natural resources complicates rational using of nature at all administrative levels of managing. Soil combinations, as subsystems of geosystems, have deterministic by local conditions character (properties), allow make qualitative account of natural-resource potential with further estimation and monitoring, forecasting ecological and economical risks. The geosystem approach has specific advantages at fast development of geoinformational systems as principles of construction object-multidigraph data bases in format ArcInfo are closely connected with natural organizing topsoil cover structure of any territory.

**Key words:** geosystem approach, soil combination, structure of the topsoil, and potential assessment, forest resource potential assessment.

**Введение.** В структуре природно-ресурсного потенциала Беларуси значительная часть принадлежит почвенно-земельным ресурсам, эксплуатируемым аграрным и лесным секторами экономики.

Основу концепции адаптивного землепользования составляет территориальный подход к

учету, оценке и мониторингу почвенно-земельных ресурсов республики. Сущность подхода заключается в использовании типизированных пространственных единиц (геосистем), представляющих собой природно-функциональное организованное единство инертных, мобиль-

ных и биотически активных компонентов окружающей среды, связанное с физической поверхностью Земли [1, 2, 3].

В качестве природных систем, однородных по комплексу общих признаков, предлагается использование почвенных комбинаций (ПК), поскольку наличие конкретной структуры у почвенного покрова (СПП) является доказательством получения и хранения определенной информации из внешней среды. Следовательно, почва есть функция внешних по отношению к ней факторов, и она является основой информации о геосистеме [4, 5]. На значение структуры почвенного покрова (СПП) для характеристики земельных ресурсов, типологического районирования указывали многие авторы [5–9].

Хозяйственным аналогом ПК и территориальной единицей инвентаризации почвенно-земельных ресурсов является тип земель (ТЗ), характеризующийся общностью свойств природных систем, единством ресурсного потенциала и реакцией на антропогенные воздействия [5, 10, 11]. Следовательно, картографическое описание СПП является инвариантом состояния природно-ресурсного потенциала территории.

Объектом исследования выступают ТЗ в границах Городокского, Ушачского и Браславского (сельскохозяйственный производственный кооператив (СПК) «Межаны») районов.

В качестве методологической основы применялся системный подход, основанный на геоинформационном анализе базы данных (БД) СПП в формате ArcInfo, объединившей пространственную семантику ПК как единиц геопространственного анализа, с математическими и логическими методами обработки информации [8]. Построение цифровых моделей рельефа для учета геоморфологических особенностей в границах, выделенных ПК, реализовывалось при помощи модулей ArcGIS Spatial Analyst, 3D-Analyst и Geostatistical Analyst. Идентификация ПК осуществлялась сравнительно-картографическим методом и методом информационного многофакторного анализа СПП по почвенным картам масштаба 1:50 000 и 1:10 000.

Структура БД позволила послойно организовать топологически корректную модель местности с классами зависимых (СПП, отдельные свойства почв) и независимых данных (модель рельефа, данные дистанционного зондирования (ДДЗ)). Векторный формат пространственных классов объектно-ориентированных БД полностью отвечает требованиям моделирования СПП как природной системы, в первую очередь характеризующейся формой (пространственная интерпретация) и содержанием (атрибутивная характеристика).

**Основная часть.** Для успешного территориального планирования – пространственного сочетания хозяйственной, природоохранной и рекреационной деятельности необходима дифференциация территории на более или менее однородные по комплексу общих признаков природные системы, которые могут являться тестовыми полигонами при проведении дистанционных исследований [12].

Таковыми операциональными единицами могут служить ПК. Принцип их выделения подробно отражен в схеме типологии земель Беларуси, содержащей принципы дифференциации и номенклатуру почвенных комбинаций (ПК) [5].

В ходе работы проведена коррекция границ ПК СПК «Межаны» на основании изображения космического снимка.

Всего для СПК «Межаны» выявлено 14 ТЗ, на территории Городокского района – 21 геосистема, в Ушачском районе – 17. В других регионах северной части республики выделены ТЗ-аналоги [6, 8], которые указывают на возможность типовых подходов в заложении объектов мониторинга с учетом информации о динамике и эволюции почв [13].

Для каждого ТЗ подобраны карты ключевых участков (М 1:10 000) с целью проведения натурной верификации и проверки корректности картометрического анализа.

В качестве примера учета природных ресурсов можно привести созданные карты СПП, выполненные для СПК «Межаны» в Браславском районе (М 1:10 000), а также Городокского и Ушачского районов (М 1:50 000) Витебской области.

Карты представляют собой визуализированную информацию БД ArcInfo и отражают литологические, геоморфологические, гидрологические особенности земель, позволяя судить о плодородии и, следовательно, определять продукционную способность земель. В соответствии с критериями выделения территория СПК и административных районов была системно разделена на ограниченное количество ПК, закономерно повторяющихся на выделенной территории и обладающих близкими характеристиками с позиций дальнейшего использования.

Геометрия почвенных ареалов отражает сложный «лопастной» характер почвенного покрова ключевого участка (рис. 1), в котором хорошо различимы изолированные контуры автоморфных почв (№ 4, рис. 1) и довольно широкие сточные ложбины с дерново-подзолистыми супесчаными почвами (№ 3, 4), склоны на севере и востоке участка прорезают две глубокие сточные ложбины с дерново-подзолистыми временно избыточно увлажненными супесчаными почвами (№ 8). Фон образуют дерново-подзолистые супесчаные почвы (№ 2).

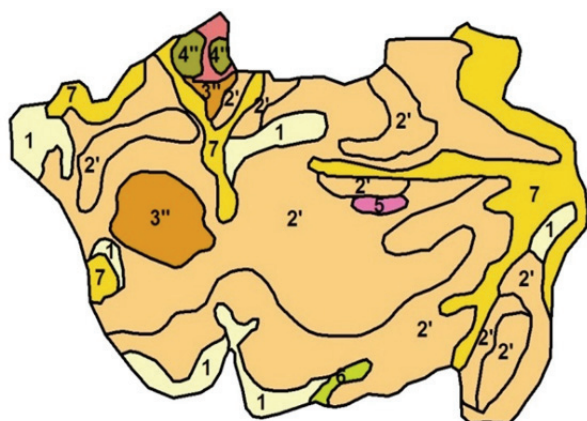


Рис. 1. Водораздел выпуклый высокий на песках и супесях, подстилаемых песками (участок СПК «Межаны», Браславский район, М 1:10 000):

1 – почвы дерново-подзолистые супесчаные на мощных связных супесях – 50% и тех же супесях, подстилаемых песками с глубины 0,7–1,0 м, – 50%;  
2 – дерново-подзолистые эродированные супесчаные на мощных связных супесях – 50% и тех же супесях, подстилаемых песками с глубины 0,7–1,0 м, – 50%;  
3 – дерново-подзолистые эродированные супесчаные на связных супесях, сменяемых песками с глубины 0,3–0,5 м; 4 – дерново-подзолистые песчаные на связных песках, сменяемых рыхлыми песками с глубины 0,2–0,3 м, слабосмытые;  
5 – дерново-палево-подзолистые суглинистые на мощных пылеватых (лессовидных) суглинках;  
6 – дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные супесчаные почвы на мощных связных супесях – 50% и тех же супесях, подстилаемых песками с глубины 0,7–1,0 м, – 50%;  
7 – дерново-подзолистые глееватые суглинистые на пылеватых (лессовидных) легких суглинках

На основе анализа ПК были оценены экологические риски в пределах тридцати километровой зоны, отведенной под строительство АЭС (Островский район). Для каждого ТЗ установлены виды-эдификаторы, выполняющие средообразующие функции биогеоценоза. Показатели устойчивости геосистем определены через характер поверхностного стока (способность к самоочищению) и способность почв к необменному поглощению загрязнителей [13].

Для осуществления мониторинга природных ресурсов по закономерно организованным ПК эффективным методом является использование ДДЗ: аэрофотоснимков, аэрофотопланов, космических снимков различной разрешающей способности.

Геоинформационная инвентаризация и статистико-картометрический анализ ПК позволяют осуществить учет, оценку и прогнозировать хозяйственное использование ресурсов территории.

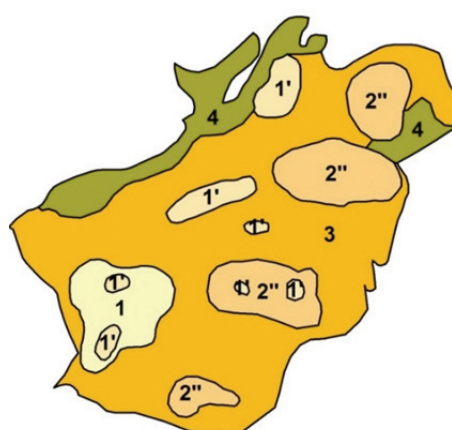


Рис. 2. Водораздел плоский высокий на двухчленных с водоупором почвообразующих породах (участок СПК «Межаны», Браславский район, М 1:10 000):

1 – почвы дерново-подзолистые эродированные супесчаные на рыхлых супесях, сменяемых с глубины 0,3–0,4 м песками, подстилаемых с глубины 0,6–0,9 м моренными суглинками; 2 – дерново-подзолистые эродированные песчаные на связных песках, сменяемых с глубины 0,2–0,4 м рыхлыми песками, подстилаемых с глубины более 1,0 м моренными суглинками; 3 – дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные супесчаные на легких супесях, сменяемых с глубины 0,3–0,4 м песками, подстилаемых с глубины 0,6–0,9 м моренными суглинками; 4 – дерново-подзолистые глееватые супесчаные на рыхлых супесях, сменяемых с глубины 0,3–0,4 м песками, подстилаемых с глубины 0,6–0,9 м моренными суглинками

**Выводы.** Сочетание геопространственного анализа модели рельефа, цифровых почвенных, ландшафтных и карт растительности в БД СПП позволяет осуществлять автоматизированный учет природных ресурсов. Информационная насыщенность разномасштабных почвенных карт дает право проводить инвентаризацию СПП в границах ПК, применить оценку бонитета почв с учетом природной неоднородности территории. Оценка выполняется в БД в полуавтоматическом режиме на основании картометрического анализа ПК. Результаты оценки группируются по баллам, каждая ПК получает ранг. Подход позволяет сформировать основу территориального планирования любой административной единицы или землепользования с учетом экологических и экономических рисков направления природопользования. Наличие классификаторов отражательной способности поверхности ТЗ позволяет проводить мониторинг состояния почвенного покрова на основе ДДЗ и прогнозировать последствия хозяйственной деятельности.

В лесохозяйственном использовании имитационные модели геосистем определяют оптимальные сценарии развития биогеоценозов.

Исследования СПП в качестве инварианта открывают пути для количественных методов учета и оценки природных ресурсов, моделирования географических процессов и структур, мониторинга и прогнозирования качественных и количественных изменений с привлечением последних разработок в области

геоинформатики и данных дистанционного зондирования.

Геосистемный подход представляет собой пространственную форму учета природных ресурсов, предлагает оценку ПРП на основе статистико-картометрического анализа, обеспечивающего возможность расчетного планирования мероприятий (определить категорию использования земель в сельском и лесном хозяйствах).

### Литература

1. Арманд А. Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988. 261 с.
2. Кузьмин С. Б. Методология геосистемных исследований в русле диалога естественных и гуманитарных наук // Общ-во. Среда. Развитие (Terra Humana). 2018. Вып. 1, № 46. С. 112–122.
3. Сочава В. В. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
4. Горбачев В. Н., Бабинцева Р. М. Память почв – показатель и носитель информации об эволюции экологических условий // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. № 4. С. 104–110.
5. Кауричев И. С., Романова Т. А., Сорокина Н. П. Структура почвенного покрова и типизация земель. М.: МСХА, 1992. 152 с.
6. Андреева В. Л. Інвентаризація і оцінка ґлебава-лясних ресурсів // Весці БДПУ. Сер. 3. 2005. № 1. С. 54–58.
7. Качков Ю. П. Почвенно-экологическое микрорайонирование и типология земель как основа формирования ландшафтно-адаптивных систем земледелия // Природные ресурсы. 2012. № 1. С. 38–45.
8. Червань А. Н. Геосистемный подход к организации природопользования в переувлажненных агроландшафтах (на примере СПК «Ловжанский» Витебской области Беларуси) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2016. Вып. 37, № 25 (246). С. 143–155.
9. Шаповалов Д. А., Белоброва Д. А., Белобров В. П. Структура почвенного покрова как информационное обеспечение земельно-оценочных работ и реестра почвенных ресурсов на локальном уровне // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 2. С. 6–11.
10. Андреева В. Л., Романова М. Л., Червань А. Н. Биогеоценотические исследования подзоны дубово-темнохвойных лесов на основе изучения структуры почвенного покрова // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 134–136.
11. Рулев А. С., Юфев В. Г. Термодинамика и моделирование переходных зон в агрогеосистемах // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1 (42). С. 34–40.
12. Чернов А. В. Мониторинг с помощью ДДЗ и практика регионального управления // Земля из космоса. 2010. Вып. 7. Осень. С. 19–27.
13. Романова М. Л., Романовский Ч. А., Червань А. Н. Использование геосистемного подхода в комплексных исследованиях 30-километровой зоны проектируемой АЭС // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. докладов V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–9 июля 2009 г. Минск, 2009. С. 251–257.

### References

1. Armand A. D. *Samoorganizatsiya i samoregulirovaniye geograficheskikh sistem* [Self-organization and self-regulation of geographic systems]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 261 p.
2. Kuz'min S. B. Methodology of geosystem research in line with the dialogue of natural and human sciences. *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye (Terra Humana)* [Society. Wednesday. Development (Terra Humana)], 2018, vol. 1, no. 6, pp. 112–122 (In Russian).
3. Sochava V. V. *Vvedeniye v ucheniye o geosistemakh* [Introduction to the study of geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978. 319 p.
4. Gorbachev V. N., Babintseva R. M. Soil memory is an indicator and carrier of information on the evolution of environmental conditions. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Medical-Biological Journal], 2011, no. 4, pp. 104–110 (In Russian).

5. Kaurichev I. S., Romanova T. A., Sorokina N. P. *Struktura pochvennogo pokrova i tipizatsiya zemel'* [Soil cover structure and tipification]. Moscow, MSKhA Publ., 1992. 152 p.
6. Andreeva V. L. Inventory and assessment of soil and forest resources. *Vestsi BDPU* [Bulletin of the BDPU], series 3, 2005, no. 1, pp. 54–58 (In Russian).
7. Kachkov Yu. P. and [other]. Soil ecological zoning and land typology as the basis to the formation of landscape-adaptive farming systems *Prirodnyye resursy* [Natural Resources], 2012, no. 1, pp. 38–45 (In Russian).
8. Chervan' A. N. and [other]. Geosystem approach to the organization of environmental management in wet agricultural landscapes (on the example of SEC "Lovzhansky", Vitebsk region of Belarus). *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific statements of Belgorod State University], series Natural Sciences, 2016, vol. 1, no. 25 (246), pp. 143–155 (In Russian).
9. Shapovalov D. A., Belobrova D. A., Belobrov V. P. The structure of soil cover as information support for land assessment and the register of soil resources at the local level. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], 2018, no. 2, pp. 6–11 (In Russian).
10. Andreeva V. L., Romanova M. L., Chervan' A. N. Biogeocenotic studies of the subzone of oak-dark coniferous forests based on the study of the structure of the soil cover. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forest and Woodworking Industry, issue XVII, pp. 134–136 (In Russian).
11. Rulev A. S., Yuferev V. G. Thermodynamics and modeling of transition zones in agroecosystems. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye* [News of the Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education], 2016, no. 1 (42), pp. 34–40 (In Russian).
12. Chernov A. V. Monitoring using remote sensing data and the practice of regional management. *Zemlya iz kosmosa* [Earth from space], 2010, vol. 7, pp. 19–27 (In Russian).
13. Romanova M. L., Romanovskiy Ch. A., Chervan' A. N. [The use of the geosystem approach in the comprehensive studies of the 30-kilometer zone of the designed NPP]. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya")*. [Collection of reports of the International Scientific Practical Conference (V International Scientific Practical Conference "Emergency situations: prevention and liquidation")]. Minsk, 2009, pp. 251–257 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Червань Александр Николаевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник. РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (220108, г. Минск, ул. Казинца, 90, Республика Беларусь). E-mail: chervanalex@mail.ru

**Романова Марина Львовна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоботаники. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 2, Республика Беларусь). E-mail: ajuga@rambler.ru

**Андреева Виктория Леонидовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры географии и методики преподавания географии. Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка (220089, г. Минск, ул. Советская, 18, Республика Беларусь). E-mail: diversity75@mail.ru

**Ефимова Ирина Аркадьевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и земельно-информационных систем. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 16, Республика Беларусь). E-mail: diversity75@mail.ru

#### Information about the authors

**Chervan' Aleksandr Nikolayevich** – PhD (Agriculture), Leading Researcher RUE "Institute of Soil Science and Agrochemistry" (90, Kazintsa str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chervanalex@mail.ru

**Romanova Marina L'vovna** – PhD (Biology), Leading Researcher Geobotany Laboratories V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of National Academy of Science of Belarus (2, Academiceskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ajuga@rambler.ru

**Andreeva Victoriya Leonidovna** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Geography and Methods of Teaching Geography. Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank (18, Sovetskaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: diversity75@mail.ru

**Efimova Irina Arkad'yevna** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Soil Science and Land Information Systems. Belarusian State University (16, Leningradskaya str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: diversity75@mail.ru

Поступила 28.10.2018

# ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

---

УДК 630\*231:630\*221.02

**А. А. Прищепов, К. В. Лабоха**

Белорусский государственный технологический университет

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ВЫБОРОЧНОГО УЧЕТА ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛЕСА ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ РУБКИ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

Для проведения исследований были заложены три пробные площади в выделах с наличием естественного возобновления леса. Размер пробных площадей составляет приблизительно 2% от площади выдела, в котором они заложены. Каждая пробная площадь была разбита на квадраты размером 2×2 м, на которых производился сплошной пересчет подроста. Затем выполнялось моделирование закладки различных методов выборочного учета естественного возобновления леса: методы закладки одной, двух и трех трансект; закладки трансект по диагоналям пробной площади; закладки учетных площадок рядами, в шахматном порядке и по диагоналям пробной площади.

Данные, полученные по всем методам учета на каждой пробной площади, подвергались статистической (математической) обработке. Затем проводилось сравнение показателей, полученных по каждому методу выборочного учета, с аналогичными показателями, полученными по методу сплошного учета, и определялся метод, который имел в совокупности показатели, максимально близкие к полученным методом сплошного учета.

Среди всех проанализированных методов выборочного учета естественного возобновления леса самым точным оказался метод закладки трансект по диагоналям пробной площади. На всех пробных площадях он показал наилучшие результаты. Для него характерно: максимально близкие к истинным показатели коэффициента вариации и коэффициента встречаемости, невысокая ошибка средней численности подроста, высокая точность наблюдений. Ошибка определения густоты подроста при методе закладки трансект по диагоналям не превышает  $\pm 3\%$ .

**Ключевые слова:** возобновление леса естественное, учет подроста, метод учета.

**A. A. Prishchepov, K. V. Labokha**

Belarusian State Technological University

## **ESTIMATION OF THE ACCURACY OF SELECTIVE ACCOUNTING METHODS OF NATURAL REGENERATION OF FOREST AFTER THE PRINCIPAL FELLING**

To carrying out of research three trial plots were laid in the areas with the presence of young growth. The size of trial plots is approximately 2% of the area in which each of them is laid. Each trial plot was divided into 2×2 m squares, on which young growth count was made. Then, the modeling of laying of various selective accounting methods of natural regeneration of forest was carried out: the methods of laying one, two and three transects; method of laying a transects on the diagonals of the trial plot; methods of laying accounting areas on rows, on chessboard order and on diagonals of the trial plot.

Obtained data by all accounting methods on each trial plot were subjected to statistical (mathematical) processing. Then comparison was made of the indicators obtained by each selective accounting method with those obtained by the method of continuous accounting. A selective accounting method was determined that had in aggregate the indicators as close as possible to those obtained by the method of continuous accounting.

Among all the analyzed methods of selective accounting of natural regeneration of forest, the most accurate method is the laying of transects on the diagonals of the trial plot. In all trial plots this method showed the best results. It is characterized by: the closest to the true coefficient of variation and the coefficient of occurrence; low error in the average number of the young growth, high accuracy of observations. The error of determining the density of young growth by the method of laying transects on the diagonals of the trial plot does not exceed  $\pm 3\%$ .

**Key words:** natural regeneration of forest, accounting of young growth, accounting method.

**Введение.** Изучение численности подроста на площадях возобновления является актуальной проблемой лесной геоботаники и лесного хозяйства. Численность подроста определяет судьбу территории и уровень затрат, необходимых для поддержания ее в облесенном состоянии [1].

Оценка естественного возобновления леса проводится при выборе способа лесовозобновления перед назначением древостоя в сплошную рубку главного пользования, определении количества приемов постепенной рубки, приемке лесосек от лесозаготовителей, инвентаризации и переводе в покрытые лесом земли участков, оставленных под естественное возобновление [2].

А. В. Побединский [3] писал, что естественное возобновление леса во многих случаях имеет более высокие лесоводственные и экономические показатели, чем культуры, требуя к тому же меньших затрат труда и средств.

В отличие от древостоя подрост чаще всего учитывается выборочно на площадках или лентах [4].

В книге Грейг-Смита [5] утверждается, что комплексная оценка успешности естественного возобновления леса может быть дана на основе показателей численности, встречаемости и обилия подроста (самосева).

Согласно А. Н. Мартынову [6], при лесоинвентаризационных работах оценку успешности облесения чаще всего дают по показателю средней численности подроста на 1 га.

А. В. Побединский [7] для учета и оценки подроста использовал небольшие, до 4 м<sup>2</sup>, площадки в количестве 100 шт.

А. С. Тихонов [8] предлагает использование 100 площадок площадью по 10 м<sup>2</sup>, однако точность такого учета не оговаривает. Д. П. Столяров и В. Г. Кузнецова [9] рекомендуют закладывать 10 площадок по 100 м<sup>2</sup>.

И. Т. Иванова [10] предлагала набирать учетными площадками 20% от площади выдела. Чистяков и Успенский [11] рекомендовали подвергать учету от 0,25 до 0,5% от площади выдела.

А. И. Федоров [12] считал, что пробные площади при учете естественного возобновления леса следует закладывать по типам леса размерами 0,10–0,25 га.

Л. В. Попов [13], проанализировав в 1961 г. опыт ряда исследователей, склонялся к мнению, что наиболее приемлемо закладывать 25 учетных площадок размером 4–10 м<sup>2</sup> равномерно по пробной площади.

Лучшим вариантом, по мнению Ю. И. Манько [14], является учет лентой шириной 2 м, располагаемой по диагонали пробы в ком-

плексе с двумя площадками 2×2 м, закладываемыми по углам пробы. Он также полагает, что учет по двум диагональным лентам дает более точные результаты. По его же материалам, метод учетных площадок, даже при значительном их количестве, не дал удовлетворительных результатов. Следует отметить, что Ю. И. Манько не вычислял соответствующих статистических показателей и его выводы основаны на отдельных частных сравнениях.

А. И. Федоров [12] в 1958 г. пришел к выводу, что на вырубках лучший способ учета – две перпендикулярные ленты по ее диагоналям, а под пологом – три поперечные ленты.

П. З. Лившиц и Н. А. Борисова [15] пытались найти обходной путь учета подроста: они предлагали производить учет плотности особей в скоплениях, а затем оценивать общую площадь таких скоплений.

Форма площадок является менее принципиальным моментом методики исследований. Например, Ю. А. Злобин [1] и А. В. Побединский [7] в своих исследованиях использовали квадратные площадки, в то время как Л. А. Пегов [16] и А. С. Тихонов [8] – круговые.

А. П. Мартынов [17] констатирует, что точность учетов встречаемости подроста на вырубках и под пологом леса варьирует примерно в одинаковой степени.

В соответствии с пунктом 12.2.3 Наставлений по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь [18] учетные площадки закладываются прямоугольной либо круглой формы. Здесь же рекомендуются следующие размеры площадок: для очень густого подроста 1–2 м<sup>2</sup>, густого – 4–5 м<sup>2</sup>, средней густоты – 10 м<sup>2</sup> и редко-го – 20 м<sup>2</sup>. Учетные площадки размещаются по диагонали участка, а также рядами или в шахматном порядке. Количество площадок для учета подроста и естественного возобновления леса на лесосеках и вырубках площадью до 5 га – 10 шт., от 5 до 10 га – 20 шт. и свыше 10 га – 30 шт.

**Основная часть.** Для проведения исследований были заложены три пробные площади в выделах с наличием естественного возобновления леса. В данных выделах выполнялись полосно-постепенные рубки главного пользования. Размер всех пробных площадей составляет приблизительно 2% от площади выдела, в котором каждая из них заложена.

Пробная площадь № 1 заложена в 71-м квартале 6-м выделе Вилейского лесничества. Ее площадь составляет 1024 м<sup>2</sup>. Общее количество подроста по методу сплошного перечета – 635 шт. Соответственно густота подроста составляет 6201 шт./га.

Пробная площадь № 2 заложена в 74-м квартале 3-м выделе Пригородного лесничества. Площадь составляет 1024 м<sup>2</sup>. Общее количество подроста по методу сплошного пересчета – 691 шт. Соответственно густота подроста составляет 6748 шт.

Пробная площадь № 3 заложена в 73-м квартале 1м выделе Пригородного лесничества. Размер данной пробной площади составляет 784 м<sup>2</sup>. Общее количество подроста по методу сплошного пересчета – 4837 шт. Соответственно густота подроста пробной площади составляет 61 696 шт./га.

Каждая пробная площадь была разбита на квадраты размером 2×2 м. На каждом из квадратов производился сплошной пересчет подроста, затем вычислялась густота подроста на пробных площадях. Полученная густота являлась эталонным значением, так как была найдена на основании сплошного пересчета.

Далее, имея разбивку пробных площадей на квадраты, моделируем закладку различных методов выборочного учета естественного возобновления леса, в частности методы закладки одной, двух и трех трансект; закладки трансект по диагоналям пробной площади; закладки учетных площадок рядами; в шахматном порядке и по диагоналям пробной площади.

Данные, полученные на каждой пробной площади, подвергаются статистической (математической) обработке.

Затем на каждой пробной площади производится сравнение показателей, полученных по каждому методу выборочного учета, с соответствующими показателями, полученными по методу сплошного учета, и определяется метод, который имеет в совокупности показатели, максимально близкие к полученным методом сплошного учета. Данный анализ осуществляется для каждой из трех пробных площадей.

Результаты статистической обработки данных учета естественного возобновления леса, полученных на пробной площади № 1, представлены в табл. 1.

Проанализировав показатели табл. 1, делаем вывод, что на данной пробной площади самым оптимальным методом выборочного учета естественного возобновления леса является метод закладки трансект по диагоналям пробной площади. Из методов закладки учетных площадок – метод закладки учетных площадок рядами и метод закладки учетных площадок по диагоналям пробной площади.

Самым неточным выборочным методом учета естественного возобновления леса на данной пробной площади считается метод закладки учетных площадок в шахматном порядке.

Таблица 1

**Статистические показатели учета естественного возобновления леса на пробной площади № 1**

| Статистический показатель                                  | Метод учета естественного возобновления |             |             |             |                         |                                      |                                |                   |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
|                                                            | трансекты по диагоналям                 | 1 трансекта | 2 трансекты | 3 трансекты | учетные площадки рядами | учетные площадки в шахматном порядке | учетные площадки по диагоналям | сплошной пересчет |
| Количество учетных площадок, шт.                           | 32                                      | 16          | 32          | 48          | 10                      | 10                                   | 10                             | 256               |
| Средняя численность подроста на учетной площадке, экз.     | 2,5                                     | 2,4         | 2,6         | 2,1         | 4,7                     | 4,4                                  | 4,6                            | –                 |
| Выборочное среднеквадратическое отклонение, экз.           | 1,80                                    | 2,09        | 1,86        | 1,79        | 2,06                    | 2,99                                 | 2,12                           | –                 |
| Коэффициент вариации, %                                    | 72,9                                    | 88,2        | 71,9        | 84,4        | 43,8                    | 67,9                                 | 46,1                           | 77,5              |
| Ошибка репрезентативной средней численности подроста, экз. | ±0,32                                   | ±0,52       | ±0,33       | ±0,26       | ±0,65                   | ±0,95                                | ±0,67                          | –                 |
| Показатель точности наблюдений, %                          | 12,9                                    | 36,0        | 12,7        | 12,2        | 13,8                    | 21,5                                 | 14,5                           | –                 |
| Коэффициент встречаемости, %                               | 84,4                                    | 87,5        | 90,6        | 85,4        | 100                     | 100                                  | 100                            | 87,5              |
| Коэффициент гомогенности, ед.                              | 1,31                                    | 1,85        | 1,34        | 1,51        | 0,90                    | 2,03                                 | 0,98                           | –                 |
| Численность подроста на гектаре, шт./га                    | 6172                                    | 5938        | 6484        | 5313        | 5875                    | 5500                                 | 5750                           | 6201              |
| Отклонение от данных сплошного пересчета, %                | –0,5                                    | –4,2        | +4,6        | –14,3       | –5,3                    | –11,3                                | –7,5                           | –                 |

Таблица 2

## Статистические показатели учета естественного возобновления леса на пробной площади № 2

| Статистический показатель                              | Метод учета естественного возобновления |             |             |             |                         |                                      |                                |                   |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
|                                                        | трансекты по диагоналям                 | 1 трансекта | 2 трансекты | 3 трансекты | учетные площадки рядами | учетные площадки в шахматном порядке | учетные площадки по диагоналям | сплошной пересчет |
| Количество учетных площадок, шт.                       | 32                                      | 16          | 32          | 48          | 10                      | 10                                   | 10                             | 256               |
| Средняя численность подроста на учетной площадке, экз. | 2,8                                     | 2,6         | 2,8         | 2,4         | 5,1                     | 6,9                                  | 5,7                            | 2,7               |
| Среднеквадратическое отклонение, экз.                  | 1,87                                    | 1,41        | 2,48        | 1,51        | 3,35                    | 3,78                                 | 2,67                           | –                 |
| Коэффициент вариации, %                                | 67,1                                    | 55,1        | 87,1        | 62,1        | 65,7                    | 54,9                                 | 46,8                           | 68,8              |
| Ошибка средней численности подроста, экз.              | ±0,33                                   | ±0,35       | ±0,44       | ±0,22       | ±1,06                   | ±1,20                                | ±0,84                          | –                 |
| Точность наблюдения, %                                 | 11,9                                    | 39,0        | 15,4        | 9,0         | 20,8                    | 17,3                                 | 14,8                           | –                 |
| Коэффициент встречаемости, %                           | 87,5                                    | 93,8        | 84,4        | 89,6        | 100                     | 100                                  | 100                            | 92,6              |
| Коэффициент гомогенности, ед.                          | 1,25                                    | 0,78        | 2,16        | 0,94        | 2,20                    | 2,08                                 | 1,25                           | –                 |
| Численность подроста на гектаре, шт./га                | 6953                                    | 6406        | 7109        | 6094        | 6375                    | 8625                                 | 7125                           | 6748              |
| Отклонение от данных сплошного пересчета, %            | +3,0                                    | –5,1        | +5,3        | –9,7        | –5,5                    | +27,8                                | +5,6                           | –                 |

Результаты статистической обработки данных учета естественного возобновления леса, полученных на пробной площади № 2, представлены в табл. 2.

Проанализировав данные табл. 2, можно сделать вывод, что на представленной пробной площади самым оптимальным методом выборочного учета естественного возобновления леса, так же как и на пробной площади № 1, является метод закладки трансекта по диагоналям пробной площади.

Из методов закладки учетных площадок – методы закладки учетных площадок рядами и по диагоналям пробной площади. Самым неточным методом выборочного учета естественного возобновления леса на данной пробной площади является метод закладки учетных площадок в шахматном порядке.

Результаты статистической обработки данных учета естественного возобновления леса, полученных на пробной площади № 3 представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Статистические показатели учета естественного возобновления леса на пробной площади № 3

| Статистический показатель                              | Метод учета естественного возобновления |             |             |             |                         |                                      |                                |                   |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
|                                                        | трансекты по диагоналям                 | 1 трансекта | 2 трансекты | 3 трансекты | учетные площадки рядами | учетные площадки в шахматном порядке | учетные площадки по диагоналям | сплошной пересчет |
| Количество учетных площадок, шт.                       | 28                                      | 14          | 28          | 42          | 10                      | 10                                   | 10                             | 196               |
| Средняя численность подроста на учетной площадке, экз. | 24,8                                    | 18,0        | 27,0        | 22,1        | 26,1                    | 20,5                                 | 25,2                           | –                 |
| Среднеквадратическое отклонение, экз.                  | 4,86                                    | 2,25        | 4,54        | 4,93        | 6,21                    | 4,38                                 | 5,33                           | –                 |
| Коэффициент вариации, %                                | 19,6                                    | 12,5        | 16,8        | 22,3        | 23,8                    | 21,4                                 | 21,2                           | 91,7              |
| Ошибка средней численности подроста, экз.              | ±0,92                                   | ±0,60       | ±0,86       | ±0,76       | ±1,96                   | ±1,38                                | ±1,69                          | –                 |
| Точность наблюдения, %                                 | 3,7                                     | 3,4         | 3,2         | 3,4         | 7,5                     | 6,8                                  | 6,7                            | –                 |
| Коэффициент встречаемости, %                           | 100                                     | 100         | 100         | 100         | 100                     | 100                                  | 100                            | 100               |
| Коэффициент гомогенности, ед.                          | 0,95                                    | 0,28        | 0,77        | 1,10        | 1,48                    | 0,93                                 | 1,13                           | –                 |
| Численность подроста на гектаре, шт./га                | 62 054                                  | 45 000      | 67 411      | 55 179      | 65 250                  | 51 250                               | 63 000                         | 61 696            |
| Отклонение от данных сплошного пересчета, %            | +0,6                                    | –27,1       | +9,2        | –10,6       | +5,8                    | –16,9                                | +2,1                           | –                 |

Проведя анализ показателей табл. 3, делаем вывод, что на данной пробной площади самым оптимальным методом выборочного учета естественного возобновления леса, так же как и на предыдущих пробных площадях, является метод закладки трансект по диагоналям пробной площади. Из методов закладки учетных площадок – метод закладки учетных площадок по диагоналям пробной площади. Самым худшим методом выборочного учета естественного возобновления на данной пробной площади считается метод закладки одной трансекты.

Главным показателем при учете естественного возобновления леса является показатель численности подроста на гектаре, или густота. Следовательно, говоря об оценке точности того или иного метода, в первую очередь подразумевается анализ показателя густоты и то, насколько этот показатель соответствует действительности.

Для оценки точности методов выборочного учета естественного возобновления леса была составлена гистограмма по результатам учета подроста на каждой пробной площади, характеризующая отклонение показателей гу-

стоты, полученных методами выборочного учета естественного возобновления от показателя густоты, полученного методом сплошного перечета. Данная гистограмма представлена на рисунке.

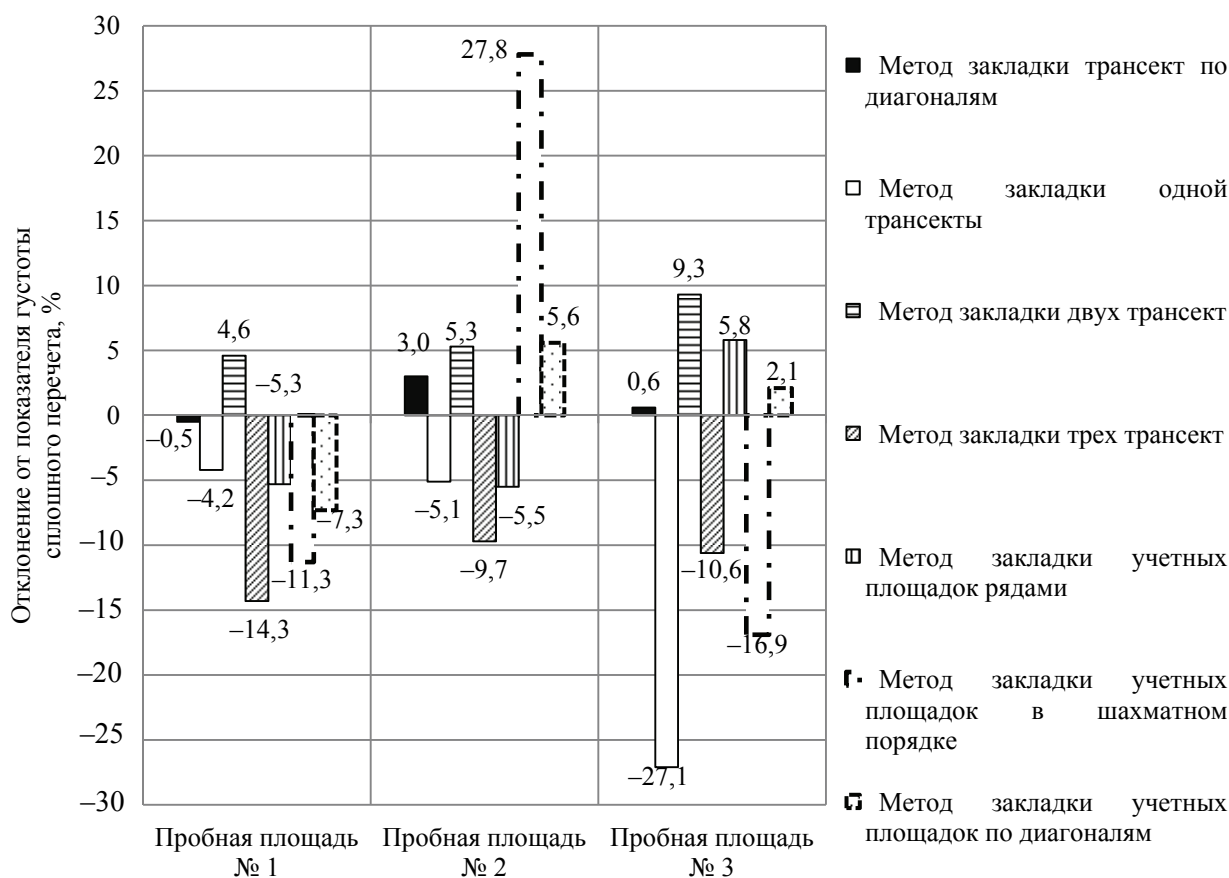
Проанализировав гистограмму, можно сделать следующие выводы:

1) наименьшее отклонение показателя густоты на всех пробных площадях характерно для метода закладки трансект по диагоналям пробной площади. Ошибка определения густоты не выходит за пределы  $\pm 3\%$ ;

2) менее точным является метод закладки двух трансект. При нем отклонение не превышает  $10\%$ ;

3) среди методов закладки учетных площадок самыми оптимальными оказались метод закладки учетных площадок рядами и по диагоналям с отклонениями, не превышающими  $\pm 6\%$  и  $\pm 8\%$  соответственно;

4) самым неточным является метод закладки учетных площадок в шахматном порядке. На всех пробных площадях для него характерно отклонение от данных сплошного перечета более  $10\%$ .



Сводная гистограмма отклонений показателей густоты, полученных методами выборочного учета естественного возобновления леса от показателя густоты, полученного методом сплошного учета

**Заключение.** Вне зависимости от того, для каких целей проводится учет естественного возобновления леса, будь то для научных исследований или решения лесохозяйственных задач, первым этапом всегда должно являться натурное обследование участка с целью оценки равномерности размещения подростa. Это обусловливается тем, что в случае неравномерности размещения возобновления в пределах участка точность учета зависит не столько от величины площади учета, сколько от способа расположения учетных единиц. Произвольное расположение трансект или учетных площадок в случае неравномерного размещения подростa может привести к грубым ошибкам.

Среди всех проанализированных методов выборочного учета естественного возобновления леса самым точным оказался метод закладки трансект по диагоналям пробной площади. Для него характерно: максимально близкие к истинным показатели коэффициента вариации и коэффициента встречаемости, невысокая ошибка средней численности подростa, высокая точность наблюдений. Ошибка определения

густоты подростa не превышает  $\pm 3\%$ . Также достаточно точным является метод закладки двух трансект. Ошибка определения густоты подростa при данном методе не выходит за пределы  $\pm 10\%$ .

В силу того, что метод закладки трансект по диагоналям участка требует больших затрат труда и времени (из-за большого количества учетных единиц), он не всегда может быть применен в лесохозяйственном производстве. Поэтому для производственных целей лучше использовать метод закладки учетных площадок. Среди методов, рекомендуемых к использованию Наставлением по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь [18], наибольшей популярностью пользуется метод закладки учетных площадок рядами или по диагоналям участка. Два этих метода на всех пробных площадях показали относительно точные результаты, а ошибка определения густоты не превышала  $\pm 8\%$ . Не рекомендуется применять метод закладки учетных площадок в шахматном порядке. Ошибка определения густоты подростa по нему составляет от 10 до 28%.

### Литература

1. Злобин Ю. А. Численность и размещение подростa на площадях возобновления // Ботанический журнал. 1972. Т. 57. № 6. С. 632–643.
2. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Лесоводство: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2015. 440 с.
3. Побединский А. В. Воспроизводство лесов на вырубках тайги // Лесоведение. 1986. № 5. С. 3–9.
4. Пегов Л. А. Исследование точности выборочного учета подростa под пологом древостоев // Лесоведение. 1992. № 4. С. 51–59.
5. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 360 с.
6. Мартынов А. Н. Оценка естественного возобновления ели // Лесоведение. 1992. № 4. С. 43–50.
7. Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 63 с.
8. Тихонов А. С. Лесоводственные основы различных способов рубки леса для возобновления ели. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. 248 с.
9. Столяров Д. П., Кузнецова В. Г. Учет естественного возобновления в различных категориях разновозрастных ельников. Методические рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1978. 37 с.
10. Иванова И. Т. К методике учета естественного возобновления под пологом леса // Сообщение Дальневост. фил. СО АН СССР. 1964. Вып. 23. С. 39–42.
11. Чистяков А. Р., Успенский Е. И. О способах и точности учета хвойного подростa при отводе лесосек // Сборник трудов Поволжского ЛТИ. 1967. № 58. Вып. 3. С. 21–30.
12. Федоров А. И. Основные вопросы методики изучения естественного возобновления леса // Науч. конф. по рационализации лесн. х-ва и агролесомелиорации Казахстана. КСИ, Алма-Ата, 1958 г. / Лесхоз. фак-т Казахского сельскохоз. ин-та, секция лесного хоз-ва Казахского правления науч.-техн. о-ва. Алма-Ата, 1958. С. 82–87.
13. Попов Л. В. Леса междуречья Чуны и Вихорево. Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 1961. 142 с.
14. Манько Ю. И. К методике учета естественного возобновления // Сообщение Дальневост. фил. СО АН СССР. 1959. Вып. 11. С. 27–32.
15. Лившиц П. З., Борисова Н. А. К вычислению некоторых характеристик распределения рас-сеяно и неравномерно произрастающих растений // Растительные ресурсы. 1966. № 2. С. 23–25.
16. Пегов Л. А. Начальный период формирования структуры молодняков на вырубках в таежной зоне // Лесоведение. 1985. № 3. С. 55–60.
17. Мартынов А. Н. О методике определения показателя встречаемости подростa // Лесное хоз-во. 1984. № 11. С. 29–31.
18. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь: ТКП 047-2009 (02080). Введ. 20.05.2009. Минск: Минлесхоз, 2009. 119 с.

### References

1. Zlobin Yu. A. The number and placement of undergrowth in the areas of renewal. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 1972, vol. 57, no. 6, pp. 632–643 (In Russian).
2. Labokha K. V., Shiman D. V. *Lesovodstvo* [Forestry]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 440 p.
3. Pobedinskiy A. V. Reproduction of forests in the felling of taiga. *Lesovedeniye* [Forest science], 1986, no. 5, pp. 3–9 (In Russian).
4. Pegov L. A. The study of the accuracy of selective accounting of undergrowth under the canopy of tree stands. *Lesovedeniye* [Forest science], 1992, no. 4, pp. 51–59 (In Russian).
5. Greyg-Smit P. *Kolichestvennaya ekologiya rasteniy* [Quantitative ecology of plants]. Moscow, Mir Publ., 1967. 360 p.
6. Martynov A. N. Evaluation of the natural renewal of spruce. *Lesovedeniye* [Forest science], 1992, no. 4, pp. 43–50 (In Russian).
7. Pobedinskiy A. V. *Izucheniye lesovosstanovitel'nykh protsessov* [Study of reforestation processes]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 63 p.
8. Tikhonov A. S. *Lesovodstvennyye osnovy razlichnykh sposobov rubki lesa dlya vozobnovleniya eli* [The basics of different logging methods for the renewal of spruce]. Leningrad, LGU Publ., 1979. 248 p.
9. Stolyarov D. P., Kuznetsova V. G. *Uchet estestvennogo vozobnovleniya v razlichnykh kategoriakh raznovozrastnykh el'nikov* [Accounting for natural renewal in different categories of different-aged spruce forests]. Leningrad, LenNIILKh Publ., 1978. 37 p.
10. Ivanova I. T. To the method of accounting for natural renewal under the forest canopy. *Soobshcheniye Dal'nevost. fil. SO AN SSSR* [Report of the Far Eastern Branches of the USSR Academy of Sciences], 1964, vol. 23, pp. 39–42 (In Russian).
11. Chistyakov A. R., Uspenskiy E. I. On the methods and accuracy of accounting for coniferous undergrowth when allocating cutting areas. *Sbornik trudov Povolzhskogo LTI* [Collection of works of the Volga LTI], 1967, vol. 3, no. 58, pp. 21–30 (In Russian).
12. Fedorov A. I. The main issues of the method of studying the natural renewal of forests. *Nauch. konf. po ratsionalizatsii lesn. khoz-va i agrolesomeliatsii Kazakhstana* [Scientific conference on the rationalization of forestry and agroforestry of Kazakhstan], 1958, pp. 82–87 (In Russian).
13. Popov L. V. *Lesa mezhdu rech'ya Chunya i Vikhorevoy* [Forests between the Chuna and Vikhoreva rivers]. Irkutsk, Irkutskiy gos. un-t Publ., 1961. 142 p.
14. Man'ko Yu. I. To the method of accounting for natural renewal. *Soobshcheniye Dal'nevost. fil. SO AN SSSR* [Report of the Far Eastern Branches of the USSR Academy of Sciences], 1959, vol. 11, pp. 27–32 (In Russian).
15. Livshits P. Z., Borisova N. A. By calculating some of the characteristics of the distribution of scattered and unevenly growing plants. *Rastitel'nyye resursy* [Plant resources], 1966, no. 2, pp. 23–25 (In Russian).
16. Pegov L. A. The initial period of the formation of the structure of young stands on the felling in the taiga zone. *Lesovedeniye* [Forest science], 1985, no. 3, pp. 55–60 (In Russian).
17. Martynov A. N. About the method of determining the occurrence of undergrowth. *Lesnoye khoz-vo* [Forestry], 1984, no. 11, pp. 29–31 (In Russian).
18. ТКР 047-2009 (02080). Manual on reforestation and afforestation in the Republic of Belarus. Minsk, Minleskhov Publ., 2009. 119 p. (In Russian).

### Информация об авторах

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

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

### Information about the authors

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

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

Поступила 27.09.2018

УДК 630\*:161.32:630\*907.3

**Л. Н. Рожков**

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ  
К ОЦЕНКЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА (АБСОРБЦИЯ / ЭМИССИЯ)  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ РУБКИ И ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛЕСА,  
УДАЛЕНИЯ / НЕУДАЛЕНИЯ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ**

Допускаемая Парижским климатическим соглашением компенсация выбросов парниковых газов за счет сектора ЗИЗЛХ потребует их верификации на основе ныне разрабатываемой в республике системы мониторинга и оценки выбросов. В этом отношении рекомендуются подготовленные БГТУ и используемые в государственном лесном кадастре Республики Беларусь методические разработки по оценке депонирования углерода лесным фондом.

Центральной задачей обеспечения минимизации потерь углерода и питательных веществ в почве, сохранения биоразнообразия является объективный выбор способа рубки главного пользования, способа обращения с лесосечными отходами (порубочными остатками) и способа лесовозобновления. Решение этой задачи выносится на уровень практического лесного специалиста – в Беларуси это лесничий. Ежегодно лесничим Беларуси приходится делать данный выбор для 15–20 тыс. участков лесных насаждений (таксационных выделов). В каждом случае предстоит анализ с оценкой результатов рубки в части изменения, как минимум, следующих показателей лесной экосистемы:

- эмиссия углекислого газа;
- содержание питательных веществ в почве;
- сохранность биологического разнообразия;
- устойчивость насаждения, создаваемого взамен вырубленного материнского.

При этом нужно исходить из ограниченных возможностей или их полного отсутствия у лесничего воспользоваться лабораторным анализом содержания химических элементов в почвенных и растительных образцах и (или) проведения детального геоботанического / флористического описания лесного сообщества на участках рубок. Следовательно, методические рекомендации лесничему на момент составления «Проекта главной рубки и возобновления леса» должны исходить из сведений, содержащихся в таксационных описаниях лесоустroительного проекта. Статья содержит некоторые методические рекомендации на этот счет.

**Ключевые слова:** абсорбция углекислого газа лесами, рубки леса, возобновление леса, порубочные остатки, оценка содержания углерода в лесных насаждениях.

**L. N. Rozhkov**

Belarusian State Technological University

**METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE EVALUATION  
OF THE CONTENT CARBON (ABSORPTION / EMISSION)  
USING DIFFERENT WAYS OF FELLING AND FOREST RENEWAL,  
REMOVAL / NOT REMOVAL OF DEBRIS**

The compensation of greenhouse gas emissions from the LULUCF sector allowed by the Paris climate agreement will require their verification on the basis of the emission monitoring and assessment system currently being developed in the Republic. In this regard, it is recommended BSTU prepared and used in the state forest cadastre of the Republic of Belarus methodological developments on the assessment of carbon deposition by the forest Fund.

The Central task of ensuring minimization of losses of carbon and nutrient substances in the soil, conservation of biodiversity is an objective choice of the way of main felling, the method of treatment of green waste (wood residues) and method of reforestation. The solution of this problem is taken to the level of a practical forest specialist-in Belarus it is a Forester. Every year foresters of Belarus have to make this choice for 15 – 20 thousand areas of forest plantations (taxa). In each case, it is necessary to analyze and evaluate the results of cutting in terms of changes in at least the following indicators of the forest ecosystem:

- carbon dioxide emissions;
- nutrient content in the soil;
- preservation of biological diversity;
- the sustainability of the plantations created in return we cut down the parent.

Thus it is necessary to proceed from their limited opportunities, or their complete absence, at the Forester to use laboratory analysis of the content of chemical elements in soil and plant samples and (or) car-

rying out the detailed geobotanical / floristic description of forest community on sites of cabins. Therefore, methodical recommendations to the Forester at the time of drawing up "The Project of the main cabin and renewal of the wood" shall proceed from the data containing in taxation descriptions of the forest management project. The article contains some methodological recommendations in this regard.

**Key words:** absorption of carbon dioxide by forests, felling of trees, resumption of forest, chopping the remains, assessment of carbon stocks in forest plantations.

**Введение.** Среди глобальных экологических проблем наиболее существенное влияние на устойчивое развитие человеческой цивилизации оказывают последствия изменения климата. Последняя четверть XX и текущие годы XXI ст. отмечены резким потеплением. На этот процесс главное влияние оказывает изменение состава атмосферы, существенное повышение количества парниковых газов.

На 21-й сессии Конференции Сторон Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата 12 декабря 2015 г. принято Парижское соглашение, которое направлено на реализацию резолюции Генеральной Ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития до 2030 года», и поддержку экологической целостности, возобновляемых источников энергии, «зеленой» экономики, передачу высокотехнологичных технологий, смягчение последствий изменения климата и адаптацию к изменяющемуся климату [1].

20 сентября 2016 г., согласно Указу Президента [2], Республика Беларусь стала 30-й стороной Парижского соглашения [3]. 3 февраля 2017 г. заместителем Премьер-министра Республики Беларусь Русым М. И. утвержден План мероприятий по реализации положений Парижского соглашения. В рамках выполнения пункта 2 Плана для подготовки проекта нормативного правового акта об утверждении Национального плана действий по увеличению абсорбции поглотителями парниковых газов на период до 2030 года Минприроды, с учетом наших предложений [4, 5], подготовлен отчет, содержащий углеродный баланс лесов Республики Беларусь на основании значений коэффициентов выбросов / поглощения диоксида углерода от надземной фитомассы, прогноз увеличения поглощения выбросов парниковых газов лесами до 2030 и до 2050 гг., перечень мероприятий по увеличению поглощения парниковых газов в лесном хозяйстве.

Республика Беларусь приняла на себя обязательство обеспечить к 2030 г. сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) не менее чем на 28% от уровня 1990 г. без учета выбросов и стоков парниковых газов в секторе «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ). При наблюдаемом экономическом росте республики достижение предпола-

гаемого сокращения выбросов ПГ потребует реализации серьезных эффективных мероприятий. Среди них встанет задача включения вклада сектора лесного хозяйства в поглощение ПГ через стоки углекислого газа при первичном синтезе органических веществ (фотосинтезе лесов).

Допускаемая Парижским соглашением компенсация выбросов ПГ за счет сектора ЗИЗЛХ потребует их верификации на основе аккредитованных методик расчета сокращения выбросов. Согласно статье 13 Парижского соглашения, все государства должны предоставлять информацию о своих вкладах в сокращение выбросов ПГ. Для достоверной оценки этой информации в настоящее время разрабатывается соответствующее положение о создании системы мониторинга и оценки выбросов.

Применительно к лесам следует признать, что их вклад в достижение целей Парижского соглашения относительно невелик и возможен прежде всего на путях повышения продуктивности лесов, предотвращения их деградации и чрезмерной вырубке, расширения объемов лесовозобновления и лесоразведения. Эти действия потребуют инвестиций, для привлечения которых принципиально важно иметь достаточно точные методики оценки поглощения углекислого газа по каждому мероприятию.

Правительством Республики Беларусь при сотрудничестве Всемирного банка (ВБ) и Глобального экологического фонда (ГЭФ) реализуется проект «Развитие лесного сектора Республики Беларусь» (Проект 2015 г.). Цели Проекта состоят в повышении эффективности управления лесохозяйственной деятельностью, лесовосстановления и лесоразведения, увеличения использования порубочных остатков и повышения вклада лесов в достижение общественных благ. Проект предусматривает выполнение Компонента 3: Совершенствование информационных систем лесохозяйственного сектора и укрепление потенциала. В том числе при нашем руководстве и участии разрабатываются два Мероприятия Компонента 3: Мероприятие 3.1.4 и Мероприятие 3.1.3.3.

Результатами выполненного Мероприятия 3.1.4 являются [6]:

– концептуальные подходы управления лесами Беларуси в условиях наблюдаемых в последние десятилетия погодно-климатических изменений;

– пути противодействия негативному влиянию изменения климата на лесное хозяйство, проблемные вопросы технологий лесовосстановления, лесоразведения и ухода за лесом с целью их адаптации к изменению климата (В. В. Носников);

– оценка вклада лесного хозяйства Беларуси в смягчение погодно-климатических воздействий на окружающую природную среду на путях поглощения лесами атмосферного диоксида углерода и его частичной секвестрации в виде углерода фитомассы, органического углерода почвы и других компонентов лесного фонда; система мероприятий по увеличению поглощения лесами углекислого газа (Л. Н. Рожков);

– принципы и критерии «зеленой» экономики для лесного хозяйства Республики Беларусь, направления по их реализации в формирующейся «зеленой» экономике (А. В. Ледницкий);

– новая концепция устойчивого управления лесами на основе «климатоориентированной» стратегии развития лесного хозяйства как фактора стабилизации климата, эколого-экономической эффективности лесопользования и сохранения биологического разнообразия (А. В. Неверов).

Задачами разрабатываемого Мероприятия 3.1.3.3 являются:

– разработка методологии проведения работ по оценке и мониторингу содержания питательных веществ и углерода в почве и порубочных остатках, состояния биоразнообразия на участках основных рубок главного пользования: сплошных и несплошных, на которых производится заготовка древесины, а также удаление / неудаление порубочных остатков;

– проведение мониторинга и анализа углеродных потоков и уровня сохранения биоразнообразия с учетом оптимального содержания питательных веществ на пробных площадях рубок главного пользования (сплошных и несплошных) в насаждениях двух основных лесобразующих пород (сосна и ель), на которых осуществляется заготовка древесины с использованием и без порубочных остатков;

– анализ экологических, социальных и экономических последствий утилизационного использования биомассы порубочных остатков на участках рубок главного пользования в Республике Беларусь с учетом возможностей длительного секвестрирования атмосферного углерода лесами Беларуси, сохранения биоразнообразия и обеспечения оптимального содержания питательных веществ, а также с учетом санитарного состояния насаждений и недопущения развития патологических процессов в насаждениях; подготовка заключения об экологической и эконо-

мической целесообразности заготовки древесины с утилизацией и без утилизации порубочных остатков;

– разработка Методики оценки депонирования углерода порубочными остатками при проведении рубок главного пользования (сплошных, несплошных) в разрезе двух основных лесобразующих пород (ель, сосна);

– разработка рекомендаций и комплекса мероприятий по сохранению биоразнообразия, обеспечению оптимального содержания питательных веществ и минимизации эмиссии углекислого газа на участках, пройденных сплошными и несплошными рубками главного пользования, и обращению с порубочными остатками по результатам мониторинга с учетом баланса социально-экологических и потребительских интересов лесопользования.

Таким образом, акцентом Мероприятия 3.1.3.3 становится минимизация эмиссии углекислого газа и сохранения биологического разнообразия высоковозрастного (спелого) лесного насаждения, вовлеченного в главную рубку. Такой акцент Всемирного банка / ГЭФ, заказчиков Мероприятия 3.1.3.3 объективно оправдан и понятен. Вывозка заготовленной древесины от рубок главного пользования рассматривается как процесс «мгновенного окисления» древесины, сопровождающегося эмиссией углекислого газа. При прогнозируемых в Республике Беларусь объемах заготовки древесины от рубок главного пользования [7] и прочих рубок (13,5 млн, м<sup>3</sup> – 2018 г. и 19,1 – 2030 г.) ожидаемое сокращение объемов содержания углерода в лесном фонде приведет к эмиссии порядка 377 млн т CO<sub>2</sub>. Среднепериодическая (2018 – 2030 гг.) эмиссия может составить 16,4 млн т CO<sub>2</sub> год, в результате чего выброс парниковых газов в республике возрастет на 18%. Снижение продуктивности лесов, соответственно уменьшение абсорбции углекислого газа лесами будет происходить и по климатическим причинам: по В. Ф. Багинскому [8], из-за уменьшения количества осадков в весенне-летний период объем связанного углерода в сосняках вересковых уменьшится на 5–8%.

Смягчение негативных последствий рубок главного пользования лесом в части сокращения эмиссии углекислого газа, сохранения биоразнообразия возможно на путях выбора экологически щадящих способов рубок и возобновления леса, удаления / неудаления порубочных остатков, технологий лесосечных работ. Научные эксперименты и практика в области рубок и возобновления леса обнадеживают [9–12].

В частности, В. В. Сарнацкий считает, что избежать неблагоприятных условий формирования лесов после рубок в условиях экстре-

мальной флуктуации экологических факторов можно после изменения некоторых организационно-технических и технологических нормативных документов рубок леса [9]. На необходимость правильного лесоводственно обоснованного проектирования организационно-технических элементов рубок с целью максимального сохранения подроста целевых пород обращают внимание К. В. Лабоха и Д. В. Шиман [10]. Проведение мероприятий по содействию естественному возобновлению на вырубках в орляковой и кисличной сериях типов леса существенно повышает вероятность в дальнейшем сформировать древостой с преобладанием хвойных пород при проведении систематических уходах [11]. Формирование естественных ельников в результате лесоводственно-обоснованных способов рубок главного пользования дает возможность сократить на 10–15 лет сроки лесовыращивания по сравнению с искусственно создаваемыми лесными насаждениями, повысить устойчивость лесов в условиях экстремального проявления различных факторов [12].

**Основная часть.** Задачу объективного выбора способа рубки главного пользования, способа обращения с порубочными остатками и способа лесовозобновления в широкой практике решает лесничий и / или специалист лесного хозяйства. Возможность детального гео-

ботанического / флористического описания и лабораторных анализов в полевых условиях отсутствует. Следовательно, в помощь лесничему для «полевой» экспертной оценки необходимо предложить методические рекомендации на основе доступной информации. Источником этой информации является таксационное описание.

Полевая оценка участка рубки предполагает:

- в древостое;
- в компонентах лесного насаждения;
- в лесной подстилке;
- оценку биологического разнообразия спелых насаждений.

Результаты поэлементной «полевой» оценки планируемых возможных способов рубки и возобновления на участке спелого насаждения сводятся в табл. 1. Предполагаемый способ рубки, обращения с порубочными остатками и возобновления леса устанавливаются на основе ряда оценок:

- потоки  $\text{CO}_2$  на этапе «рубка – возобновление леса» (абсолютной абсорбции  $\text{CO}_2$ );
- уровень природного биоразнообразия (сохраняется, понижается или утрачивается);
- экономические показатели на этапе «рубка – возобновление леса» (возможность сокращения / увеличения затрат, доход за предоставление экологических услуг).

Таблица 1

**Прогнозируемые эколого-экономические результаты проведения рубки  
и возобновления леса**

|                                                                               |                                          |              |                  |              |          |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------|------------------|--------------|----------|------------|
| Эколого-экономические показатели<br>результатов рубки<br>и возобновления леса | Способ рубки главного пользования        |              |                  |              |          |            |
|                                                                               | сплошная                                 |              |                  |              |          | несплошная |
|                                                                               | Способ обращения с порубочными остатками |              |                  |              |          |            |
|                                                                               | удаление                                 |              | неудаление       |              | удаление | неудаление |
|                                                                               | Возобновление леса                       |              |                  |              |          |            |
|                                                                               | создание культур                         | естественное | создание культур | естественное |          |            |
| Потоки CO <sub>2</sub> на этапе «рубка – возобновление леса»:                 |                                          |              |                  |              |          |            |
| Абсолютная «эмиссия» CO <sub>2</sub>                                          | *)                                       |              |                  |              |          |            |
| Частичная «эмиссия» CO <sub>2</sub>                                           |                                          |              |                  |              |          |            |
| Сохраняемый уровень годичной абсорбции CO <sub>2</sub>                        |                                          |              |                  |              |          |            |
| Уровень природного биоразнообразия                                            |                                          |              |                  |              |          |            |
| Сохраняется природное биоразнообразие                                         |                                          |              |                  |              |          |            |
| Понижается природное биоразнообразие                                          |                                          |              |                  |              |          |            |
| Утрачивается природное биоразнообразие                                        |                                          |              |                  |              |          |            |
| Экономические показатели на этапе «рубка – возобновление леса                 |                                          |              |                  |              |          |            |
| Возможность сокращения затрат                                                 |                                          |              |                  |              |          |            |
| Максимальные затраты                                                          |                                          |              |                  |              |          |            |
| Возможность дохода за предоставление экологических услуг                      |                                          |              |                  |              |          |            |

\*) Результат показателей выражается отметкой «да» или «нет».

Решение о способе рубки, возобновления, обращения с порубочными остатками принимается на условиях всестороннего обоснования.

Содержание углерода в лесном насаждении устанавливается в разрезе его компонентов: древостой + подрост + подлесок + живой напочвенный покров + лесная подстилка + мертвая древесина (валежник, сухостой). Углерод древостоя устанавливается как сумма его содержания в стволовой древесине, сучьях, ветвях, листьях (хвое) и корнях. Основой расчета является древесный запас (стволовая древесина) и установленное от стволовой древесины участие фракций древостоя: сучьев, ветвей, листьев и корней. Для преобладающих лесообразующих пород установлены масса в сухом состоянии отдельных фракций древостоя и долевое содержание углерода в сухой фитомассе [13, прил. А и Б].

Для определения содержания углерода (эквивалент С) в фракциях древостоя в порядке «полевой» (глазомерной) оценки предлагается руководствоваться табл. 2.

Содержание углерода в других компонентах лесного насаждения в порядке «полевой» оценки предлагается определять по табл. 3. В последующем рассчитывается прогнозируемый углеродный бюджет на момент вырубленного древостоя или его части при несплошной рубке. Например, при сплошной рубке из экосистемы удаляется углерод фракций стволовой древесины, а при удалении порубочных остатков – еще и других фракций. Последующее создание лесных культур приведет к частичному уничтожению живого напочвенного покрова и лесной подстилки, вырубке подлеска и подроста. При несплошной рубке практически сохраняются лесная подстилка, живой напочвенный покров, подлесок и часть подроста целевых и сопутствующих пород.

Таблица 2

## Содержания углерода в древостое, тС /га

| Преобладающая древесная порода | Стволовая древесина | Сучья, ветви, вершины | Листья (хвоя) | Пень и корни |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|--------------|
| Сосна                          | 0,268 М*            | 0,034 М               | 0,010 М       | 0,043 М      |
| Ель                            | 0,235 М             | 0,033 М               | 0,012 М       | 0,040 М      |
| Дуб и твердолиственные         | 0,343 М             | 0,060 М               | 0,011 М       | 0,065 М      |
| Береза                         | 0,300 М             | 0,045 М               | 0,009 М       | 0,050 М      |
| Ольха (ч)                      | 0,275 М             | 0,047 М               | 0,008 М       | 0,044 М      |
| Осина                          | 0,224 М             | 0,035 М               | 0,007 М       | 0,043 М      |
| Прочие, в т. ч. кустарники     | 0,138 М             | 0,040 М               | 0,005 М       | 0,030 М      |

\* М – древесный запас, м<sup>3</sup>/га.

Таблица 3

## Содержание углерода в компонентах лесного насаждения, тС /га

| Подрост |                 |        | Подлесок |                 |        | Живой напочвенный покров, проективное покрытие, % |       |       |     |
|---------|-----------------|--------|----------|-----------------|--------|---------------------------------------------------|-------|-------|-----|
| редкий  | средней густоты | густой | редкий   | средней густоты | густой | 5–25                                              | 26–50 | 51–75 | ≥76 |
| 1,0     | 1,5             | 2,0    | 0,5      | 1,0             | 1,5    | 0,8                                               | 1,1   | 1,4   | 1,7 |

При наличии предварительного подроста и сопутствующего возобновления в результате мероприятий содействия возможно сокращение последующего оборота рубки. Анализ динамики углеродного бюджета при разных способах рубки, возобновления и удаления / неудаления порубочных остатков дает лесничему объективную оценку для принятия решения о способе рубке.

Оценка результатов биологического разнообразия при рубке устанавливается по динамике таких характеристик лесных ассоциаций, как видовой состав, покрытие / сомкнутость, обилие / густота и др. Методические подходы исследования флористического разнообразия на-

саждений в условиях рубок леса и других антропогенных воздействий изложены в публикациях Климчика Г. Я. и Пашкевич Л. С. [14, 15].

Будут предложены экспертные оценки по способам рубок и возобновления в части их влияния на содержание питательных веществ в почве, патологическое состояние и устойчивость будущего лесного насаждения.

Еще одна задача – мониторинг и оценка углеродных потоков, биоразнообразия и содержания питательных веществ в почве на участках рубок главного пользования. Это направление потребует разработок с использованием методологии количественной оценки углерода

и питательных веществ с применением лабораторного инструментария. Равно оценка биоразнообразия станет предметом анализа профессиональных исследователей – биологов, экологов, почвоведов, лесоводов и т. п. Услуги данного направления будут осуществлять аккредитованные компании в системах лесной сертификации.

**Заключение.** Допускаемая Парижским климатическим соглашением компенсация выбросов парниковых газов за счет сектора ЗИЗЛХ потребует их верификации на основе ныне разрабатываемой в республике системы мониторинга и оценки выбросов. В этом отношении рекомендуются подготовленные БГТУ [13] и используемые в государственном лесном кадастре Республики Беларусь методические раз-

работки по оценке депонирования углерода лесным фондом.

Важной задачей лесохозяйственной отрасли становится проведение мероприятий по увеличению поглощения лесами углекислого газа. При их проведении, выборе способа рубок, лесовозобновления и других воздействиях на лесное насаждение практические специалисты (лесничие, прежде всего) должны располагать методическими рекомендациями для «полевой» оценки результатов планируемого мероприятия. В этом отношении будут полезны изложенные в статье методические подходы, в основе которых использованы сведения, содержащиеся в таксационных описаниях лесоустроительных проектов.

### Литература

1. [http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/russian\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/russian_paris_agreement.pdf)
2. [http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus\\_INDC\\_Rus25.09.2015.pdf](http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus_INDC_Rus25.09.2015.pdf)
3. План мероприятий по реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата: Указ Президента Респ. Беларусь, 20 сент. 2016 г., № 345 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2016. С. 1–6.
4. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Прогноз абсорбции атмосферного углерода на основе динамики лесопользования и лесного фонда Беларуси // Труды БГТУ, 2017, № 2: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. С. 102–108.
5. 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.
6. Экологоориентированная стратегия развития лесного хозяйства Беларуси в условиях климатических изменений / И. В. Войтов [и др.], под общей ред. И. В. Войтова и А. А. Кулика. Минск: БГТУ, 2018. 141 с.
7. Багинский В. Ф. Прогноз депонирования углерода в стволовой древесине нормальных сосновых древостоев в связи с изменением климата // Сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси. Вып. 73. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2013. С. 371–378.
8. Багинский В. Ф. Перспективы главного пользования в Республике Беларусь // Сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси. Вып. 75. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2015. С. 17–25.
9. Сарнацкий В. В. Эдафо-фитоценоотические особенности формирования древостоев на вырубках поврежденных и усохших ельников // Труды БГТУ. 2016, № 1: Лесное хоз-во. – С. 65–69.
10. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Лесоводственная эффективность рубок обновления в сосновых насаждениях Верхнеберезинского геоботанического района // Труды БГТУ. 2014, № 1: Лесное хоз-во. С. 72–75.
11. Юшкевич М. В., Шинтар Д. А. Лесоводственная эффективность мероприятий по содействию естественному возобновлению на сплошных вырубках в ГЛХУ «Новогрудский лесхоз» // Труды БГТУ. 2016, № 1: Лесное хоз-во. С. 89–92.
12. Лабоха К. В., Шиман Д. В., Клыш А. С. Опыт проведения рубок главного пользования в производных березняках Белорусского Поозерья // Труды БГТУ. 2015, № 1: Лесное хоз-во. С. 66–69.
13. Методика оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь: Утв. и введена в действие приказом Минлесхоза Респ. Беларусь от 28.03.2011 г. № 81/ Л. Н. Рожков [и др.]. Минск: БГТУ: ЛРУП «Белгослес», 2011. 19 с.
14. Климчик Г. Я., Пашкевич Л. С. Трансформация и восстановление биологического разнообразия сосняков орляковых, пройденных сплошолесосечными рубками // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2010. Вып. XVIII. С. 76–79.
15. Пашкевич Л. С., Климчик Г. Я. Особенности формирования живого напочвенного покрова сосняков мшистых в условиях антропогенного воздействия // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2010. Вып. XVIII. С. 80–82.

## References

1. [http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/russian\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/russian_paris_agreement.pdf)
2. [http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus\\_INDC\\_Rus25.09.2015.pdf](http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus_INDC_Rus25.09.2015.pdf)
3. *Plan meropriyatiy po realizatsii polozheniy Parizhskogo soglasheniya k Ramochnoy konventsii Organizatsii Ob'yedinennykh Natsiy ob izmenenii klimata* [Action Plan for the implementation of the provisions of the Paris agreement to the United nations framework Convention on climate change], 2016, no. 345, pp. 1–6.
4. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F. The forecast absorption of atmospheric carbon based on the dynamics of forest management and forest Fund of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, pp. 102–108 (In Russian).
5. Rozhkov L. N., Voytov I. V., Kulik A. A. *Lesouglerodnyy resurs Belarusi* [Leopardy resource of Belarus]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 247 p.
6. Voytov I. V., Kulik A., Yurevich N. N., Nosnikow V. V., Rozhkov L. N., Lednitsky A. V., Neverov V. A. *Ekologooriyentirovannaya strategiya razvitiya lesnogo khozyaystva Belarusi v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy* [Environmentally-oriented strategy of development of forestry of Belarus in the conditions of the climate change]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 141 p.
7. Baginsky V. F. The forecast of carbon deposition in the trunk wood of pine forest in connection with climate change. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa, NAN Belarusi* [Collection of scientific works Of the Institute of forest of Belarus], 2013, vol. 73, pp. 371–378 (In Russian).
8. Baginsky V. F. Prospects of the main use in the Republic of Belarus. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Collection of scientific works of the Institute of forest of Belarus], 2015, vol. 75, pp. 17–25 (In Russian).
9. Sarnatsky V. V. Edapho-phytocenotic 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. Labokha K. V., Shiman D. V. Silvicultural efficiency of thinning the updates in pine plantations Verhnebureinski geobotanical district. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry, pp. 72–75 (In Russian).
11. Yushkevich M. V., Shintar D. A. Silvicultural effectiveness of measures to promote natural regeneration on a continuous felling areas in SFE “Novogrudok forestry”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1: Forestry, pp. 89–92 (In Russian).
12. Labokha K. V., Shiman D. V., Klysh A. S. Experience of carrying out of felling in derivative birch forests of Belarusian Poozerie. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 66–69 (In Russian).
13. *Metodika otsenki obshchego i godichnogo deponirovaniya ugleroda lesami Respubliki Belarus* [Method of estimation of total and annual carbon deposition by forests of the Republic of Belarus], 2011, no. 81. Minsk, BGTU, LRUE “Belgosles” Publ. P. 19 (In Russian).
14. Klimchik Y. G., Pashkevich S. L. Transformation and restoration of biological diversity of pine forests arlenovich passed splashresistant felling. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2010, issue XVIII, pp. 76–79 (In Russian).
15. Pashkevich L. S., Klimchik G. Ya. Features of the formation of living ground cover of mossy pine forests in the conditions of anthropogenic impact. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2010, issue XVIII, pp. 80–82 (In Russian).

## Информация об авторе

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

## Information about the author

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

Поступила 14.10.2018

УДК 630\*234:630\*182.2

**Л. Н. Рожков<sup>1</sup>, В. В. Бутьковец<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Институт леса Национальной академии наук Беларуси**ВЛИЯНИЕ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ  
НА ВОЗОБНОВЛЕНИЕ *PICEA ABIES* ПОД ПОЛОГОМ ПРИСПЕВАЮЩИХ  
И СПЕЛЫХ НАСАЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ**

Изучено влияние фитоценообразующих факторов (видовой и полнотной структуры древостоев, типов леса, подлеска, геоботанической подзоны и др.) на лесообразовательный процесс белорусской популяции *Picea abies*. Естественное возобновление белорусской популяции *Picea abies*, находящейся на южной границе ареала в наблюдаемых условиях потепления климата, нарушений водного режима в результате широкомасштабной осушительной мелиорации и пониженной устойчивости, в целом протекает относительно успешно. Успешность лесообразовательного процесса еловой формации обусловлена благоприятным проявлением фитоценообразующих факторов, таких как видовая и полнотная структура древостоев, лесорастительные условия (геоботаническая подзона, лесотипологические категории), меры содействия естественному возобновлению ели и др.

Встречаемость подроста ели в насаждениях дубово-темнохвойной и грабово-дубово-темнохвойной подзон достоверно не различается и отличается от широколиственно-сосновой подзоны. Различия достоверны между формациями сосновых, широколиственных и мелколиственных лесов разных геоботанических подзон, в меньшей степени у еловой формации. С уменьшением полноты древостоев увеличивается их доля с наличием подроста. Влияние густоты подлеска на встречаемость незначительное.

Различий между типами леса в части встречаемости в них подроста ели не выявлено. Более информативным оказалось влияние типологических категорий лесов на возобновление ели. Встречаемость подроста ели в кустарничково-зеленомошной категории значительно (почти в два раза) превышает таковую в неморально-травяной.

В целом подрост ели имеется на 20,8% площади, в том числе густотой  $\geq 4,0$  тыс. шт./га – на 3,2% и густотой 2,0–3,9 тыс. шт./га – на 12,7% площади приспевающих и спелых древостоев лесного фонда. Это свидетельствует, что еловая формация способна при поддержке мероприятий по содействию практически удвоить занимаемую площадь.

**Ключевые слова:** подрост ели, приспевающие и спелые древостои, типологические категории леса, естественное возобновление.

**L. N. Rozhkov<sup>1</sup>, U. V. Butskavets<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus**THE INFLUENCE OF PHYTOCENOTIC STRUCTURE ON THE RENEWAL  
OF *PICEA ABIES* UNDER THE PROTECTION OF THE ADDICTIVE  
AND SPELLING PLANTS OF BELARUS**

The influence of phytocenter-forming factors (species and full-tree structure of tree stands, forest types, undergrowth, geobotanical subzone, etc.) on the forest formation process of the Belarusian population *Picea abies* was studied. The natural renewal of the Belarusian population of *Picea abies*, located on the southern border of the area under the conditions of observed climate warming, violations of the water regime as a result of large-scale drainage amelioration and reduced resilience, generally proceeds relatively successfully. The success of the forest formation process of the spruce formation is due to the favorable manifestation of phytocenogenic factors, such as the species and full structure of tree stands, forest vegetation conditions (geobotanical subzone, forest type categories), measures to promote natural regeneration of spruce and others.

The occurrence of undergrowth in the plantations of oak-dark coniferous and hornbeam-oak-dark coniferous subzones is not significantly different and differs from the deciduous-pine subzone. The differences are significant between the formations of pine, broad-leaved and small-leaved forests of different geobotanical subzones, to a lesser extent in spruce formations. With decreasing fullness of stands, their share increases with the presence of undergrowth. The influence of dense undergrowth on occurrence is not significant.

Differences between forest types in terms of occurrence of spruce undergrowth in them were not identified. More informative was the effect of typological forest categories on spruce renewal. The occurrence of undergrowth ate in the shrub-green moss category significantly (almost twice) exceeds that in the nonmoral-herbal.

In general, the undergrowth of spruce is available on 20.8% of the area, including with a density of  $\geq 4.0$  thousand pcs / ha – by 3.2% and with a density of 2.0–3.9 thousand pcs / ha – by 12.7% of the area of ripening and ripe stands of the forest fund. This indicates that the spruce formation is capable, with the support of measures to promote, practically, to double the occupied area.

**Key words:** undergrowth, ripening and ripe stands, typological forest categories, natural regeneration.

**Введение.** Лесные сообщества образуются под влиянием абиотических экологических факторов (климат, солнечная радиация, вода, элементы питания, рельеф и др.). Сформированная в последующем лесная среда преобразует последние в фитоценообразующие факторы. Среди них ведущую роль в лесообразовательном процессе играет фитоценоотическая структура лесных сообществ, включая геоботаническое районирование, видовой состав, вертикальную, горизонтальную и типологическую структуры лесных насаждений и др. Лимитирующими факторами в лесообразовательном процессе являются эдафические, гидрологические, погодно-климатические и антропогенные факторы. В то же время есть и другие, более осторожные, оценки лимитирующих факторов. В частности, П. П. Попов и Д. В. Тишин [1] полагают, что «современная южная граница произрастания ели, по-видимому, не является пределом ее естественного распространения, а погодно-климатические факторы не являются лимитирующими». М. Д. Корзухин и Ю. Л. Цельникер [2] считают, что южные границы ареалов изменяются незначительно. Для дуба, клена, ясеня и липы северная

граница сдвигается в Карелию и Архангельскую область, а восточная – на восток. Береза, лиственница, ель и сосна распространяются на восток и севере Сибири – в зону тундры.

Еловая формация Беларуси – объект наших интересов – сегодня отличается пониженной устойчивостью, уменьшением продуктивности, как запас стволовой древесины массовым усыханием [3–6]. В то же время в предыдущей нашей публикации [7] был сделан вывод о высоком лесовозобновительном потенциале ели европейской даже в условиях негативных изменений экологических условий в текущем периоде.

Для установления влияния геоботанической подзоны, видового состава насаждений (формация, в пределах формации состав древостоя), вертикального строения древостоя (ярусы, возрастные элементы), горизонтальной структуры (полнота древостоя), лесорастительных условий (тип леса, категория типов леса) была подвергнута анализу выборка данных «Лесной фонд Республики Беларусь» [7, 8]. Выборка (табл. 1) анализировалась с вычислением статистических показателей непосредственным способом [9, 10].

Таблица 1

**Встречаемость подроста ели в насаждениях различных геоботанических подзон  
(% от площади типа леса в подзоне)**

| Серия типов леса          | Геоботаническая подзона лесов |        |                             |                            |                             |        |                             |                            |                          |        |                             |                            |
|---------------------------|-------------------------------|--------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------|-----------------------------|----------------------------|
|                           | дубово-темнохвойная           |        |                             |                            | грабово-дубово-темнохвойная |        |                             |                            | широколиственно-сосновая |        |                             |                            |
|                           | формации                      |        |                             |                            |                             |        |                             |                            |                          |        |                             |                            |
|                           | сосновая                      | еловая | широколи-<br>ственных лесов | мелколи-<br>ственных лесов | сосновая                    | еловая | широколи-<br>ственных лесов | мелколи-<br>ственных лесов | сосновая                 | еловая | широколи-<br>ственных лесов | мелколи-<br>ственных лесов |
| Мшистая В <sub>2</sub>    | 89,8                          | 51,8   | –                           | 38,7                       | 4,5                         | 39,5   | –                           | 11,2                       | –                        | 9,9    | –                           | 0,3                        |
| Брусничная В <sub>2</sub> | 17,7                          | 19,0   | –                           | 29,8                       | 3,3                         | –      | –                           | –                          | 11,7                     | –      | –                           | –                          |
| Орляковая                 | 61,9                          | 45,1   | –                           | 40,2                       | 29,2                        | 48,6   | 3,0                         | 26,9                       | 8,5                      | 29,8   | 0,8                         | 5,5                        |
| Кисличная                 | 52,1                          | 38,6   | 51,9                        | 46,7                       | 38,8                        | 51,2   | 43,8                        | 30,2                       | 29,6                     | 32,1   | 2,4                         | 6,8                        |
| Черничная В <sub>3</sub>  | 58,1                          | 59,0   | –                           | 41,7                       | 39,1                        | 55,2   | 26,1                        | 30,2                       | 9,6                      | 37,4   | 2,2                         | 8,9                        |
| Снытевая                  | –                             | 41,8   | 50,1                        | 9,5                        | –                           | 32,7   | 5,8                         | 17,1                       | –                        | 5,8    | –                           | 5,0                        |
| Крапивная                 | –                             | 46,0   | 89,6                        | 6,9                        | –                           | 1,0    | –                           | 17,4                       | –                        | 38,6   | –                           | 6,9                        |
| Папоротниковая            | –                             | 41,8   | 83,1                        | 19,0                       | –                           | 41,6   | –                           | 14,1                       | –                        | 35,1   | –                           | 6,5                        |
| Приручейно-травяная       | 32,5                          | 48,0   | –                           | 29,2                       | 16,5                        | 56,6   | –                           | 27,1                       | –                        | 54,5   | –                           | 1,4                        |
| Итого                     | 28,3                          | 40,4   | 50,5                        | 24,9                       | 16,6                        | 49,7   | 40,4                        | 18,5                       | 5,1                      | 30,7   | 1,8                         | 4,5                        |

Таблица 2

**Достоверность различия ( $t_{st}$ ) встречаемости подроста ели  
в насаждениях геоботанических подзон леса**

| Геоботанические подзоны                                       | Коэффициент достоверности различия ( $t_{st}$ ) в рамках подзоны |                                   |                                |                                                         |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                               | дубово-темнохвойных лесов                                        | грабово-дубово-темнохвойных лесов | широколиственно-сосновых лесов | дубово-темнохвойных и грабово-дубово-темнохвойных лесов |
| Дубово-темнохвойных лесов (ДТХ)                               | –                                                                | 1,22                              | 4,11                           | 0,52                                                    |
| Грабово-дубово-темнохвойных лесов (ГДТХ)                      | 1,22                                                             | –                                 | 3,99                           | 0,79                                                    |
| Широколиственно-сосновых лесов (ШЛС)                          | 4,11                                                             | 3,99                              | –                              | 4,49                                                    |
| Дубово-темнохвойных и грабово-дубово-темнохвойных лесов (ДХГ) | 0,52                                                             | 0,79                              | 4,49                           | –                                                       |

**Основная часть.** Встречаемость подроста в насаждениях анализируемой выборки (101 731 таксационных выделов, более 9 серий типов леса, 6 лесообразующих видов, в рамках геоботанических подзон) отличается относительно заметной зависимостью от подзоны и формации и, с первого взгляда, слабой зависимостью от типа леса (табл. 1). Для установления достоверности различий и выявления факторов, влияющих на встречаемость подроста ели, выполнен последующий анализ исследуемой выборки (табл. 2).

Встречаемость подроста ели в насаждениях широколиственно-сосновых лесов достоверно отличается от двух других подзон ( $t_{st} = 3,99–4,49$ ). Различия встречаемости подроста ели между подзонами дубово-темнохвойных (далее ДТХ) и грабово-дубово-темнохвойных (далее ГДТХ) лесов являются достоверно несущественными ( $t_{st} = 0,52–1,22$ ). Это позволяет выполнять последующий анализ в пределах двух частей исследуемой выборки, а именно подзоны широколиственно-сосновых лесов (далее ШЛС), с одной стороны, и обобщенной частью выборки из подзон дубово-темнохвойных и грабово-дубово-темнохвойных лесов (далее ДХГ) – с другой.

При оценке достоверности различий по встречаемости подроста в разрезе формаций между подзоной широколиственно-сосновых лесов и объединенной частью из подзон дубово-темнохвойных и грабово-дубово-темнохвойных лесов видно, что различия достоверны в сосновых, широколиственных и мелколиственных насаждениях с вероятностью более 95% (рис. 1). Судить о достоверности различий по встречаемости подроста под пологом еловых насаждений можно с вероятностью менее 90%.

Всего подрост ели под пологом насаждений встречается на площади 62,8 тыс. га, что составляет 19,3% от общей выборки. Основная доля подроста (91%) сконцентрирована в орляковой, кисличной и черничной сериях типов леса.

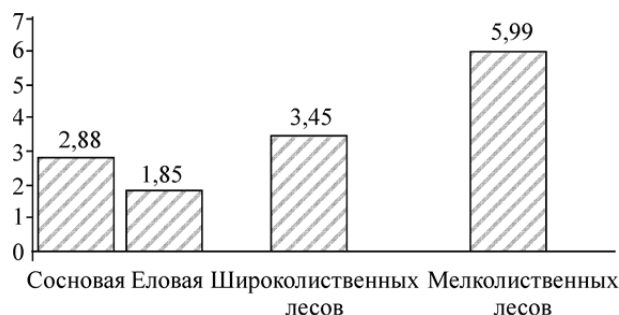


Рис. 1. Достоверность различий ( $t_{st}$ ) встречаемости подроста ели в разрезе формаций между подзонами ШЛС и ДХГ

На возникновение естественного возобновления значительное влияние оказывает наличие обсеменителей. Анализируемые древостои были разделены в зависимости от долевого участия в их составе ели. В объединенной части подзон дубово-темнохвойных и грабово-дубово-темнохвойных лесов 67,2% древостоев имеют ель в составе. В подзоне широколиственно-сосновых лесов ель представлена в составе 25,4% древостоев. Подрост ели распределен таким образом. На древостои с отсутствием в составе ели приходится 15,5% их площади в подзоне ДХГ и 25,7% – в подзоне широколиственно-сосновых лесов.

На рис. 2 приведено распределение подроста ели в зависимости от представленности ели в составе материнского древостоя.



Рис. 2. Распределение насаждений с подростом ели в зависимости от представленности ели в материнском древостое

Видно, что возобновление идет приблизительно с одинаковой закономерностью: подрост появляется в древостоях с участием ели в составе от 1 до 6 единиц. Различия между подзонами с высокой степенью достоверны ( $t_{st} = 3,44$ ).

Более 51% древостоев объединенных подзон ДХГ имеют относительную полноту 0,7; 26,9% – 0,6 и 11,7% – 0,8. В подзоне широколиственно-сосновых лесов распределение древостоев в разрезе полнот оказалось, соответственно: 58,6% – с полнотой 0,7; 22,6% – с полнотой 0,6; 11,7% имеют полноту 0,8. При сравнении долевого участия древостоев с подростом ели и без подроста по относительным полнотам видно, что с уменьшением полноты увеличивается доля древостоев с подростом (рис. 3).



Рис. 3. Распределение насаждений с подростом ели в зависимости от относительной полноты материнского древостоя

Коэффициент корреляции указывает практически на прямую зависимость встречаемости подроста ели от относительной полноты древостоев. Для зоны бореальных лесов коэффициент корреляции составляет  $r = 1,00$  ( $t_{st} = 35,5$ ), для зоны широколиственных лесов –  $r = 0,99$  ( $t_{st} = 22,2$ ).

Исследованию подлежала также оценка влияния подлеска на формирование елового подроста. Одна из отличительных особенностей ели – распространение ее в широком диапазоне световых условий. Отмечается, что по теневыносливости ель уступает лишь тису и пихте [3]. Значительная часть дневного света в древостоях задерживается подлеском. В связи с этим можно предположить, что в условиях нехватки освещенности подрост окажется в неблагоприятных условиях.

Подлесок присутствует в 73,8% древостоев зоны бореальных лесов и 85,3% зоны широколиственных лесов. Представленность в зонах ДХГ и ШЛС редкого подлеска составляет 24,6 и 26,4%, среднего, соответственно, 37,0 и 41,9%, густого – 12,1 и 17,0%.

Встречаемость подроста приведена на рис. 4. Прослеживается, что возобновление ели успешнее протекает в древостоях со средним и редким по густоте подлеском, чем без него. Густой подлесок угнетает подрост.

При естественном возобновлении лесов важным фактором является густота подроста. Подрост под пологом насаждений количеством 4,0 и более тыс. шт./га позволяет возобновить вырубку естественным методом. При наличии подроста от 2,0 до 3,9 тыс. шт./га возникает необходимость проведения мероприятий по содействию естественному возобновлению. Подрост количеством до 2,0 тыс. шт./га потребует проведения частичных лесных культур. Распределение подроста по густоте представлено на рис. 5.



Рис. 4. Распределение насаждений с подростом ели в зависимости от присутствия подлеска

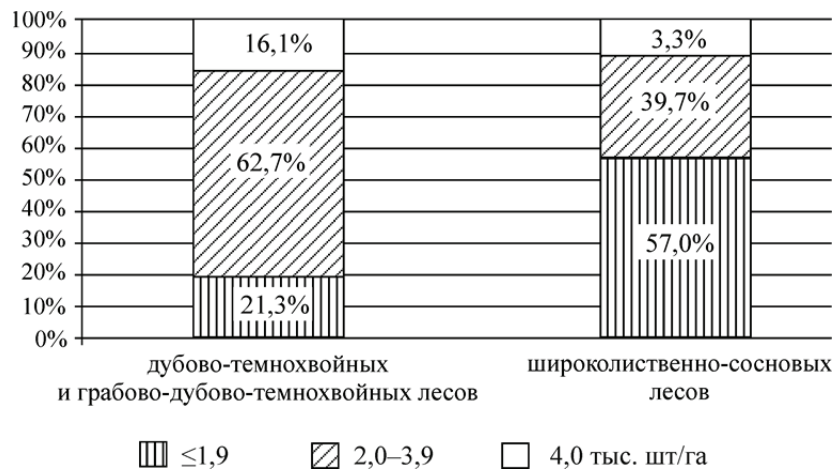


Рис. 5. Распределение подроста по густоте

Таблица 3

**Встречаемость подроста ели в насаждениях различных типологических категорий**  
 (% от площади типологической категории)

| Формации               | Типологические категории лесов |      |                     |      |
|------------------------|--------------------------------|------|---------------------|------|
|                        | кустарниково-зеленомошная      |      | неморально-травяная |      |
|                        | геоботанические подзоны лесов  |      |                     |      |
|                        | ДХГ                            | ШЛС  | ДХГ                 | ШЛС  |
| Сосновая               | 44,1                           | 9,6  | 43,8                | 11,0 |
| Еловая                 | 55,8                           | 34,7 | 43,4                | 30,4 |
| Широколиственных лесов | 25,8                           | 2,2  | 43,0                | 1,6  |
| Мелколиственных лесов  | 37,2                           | 8,8  | 28,3                | 6,1  |
| Итого                  | 44.5                           | 9.9  | 36.6                | 8.8  |

Ранее [7] мы отмечали высокий уровень лесовозобновительного потенциала белорусской популяции ели европейской. Приведенные данные (табл. 1, рис. 5) подтверждают этот вывод. Еловая формация сегодня занимает 9,37% покрытых лесом земель Республики Беларусь [12]. По нашим данным, подрост ели имеется на 20,8% площади, в том числе густотой  $\geq 4,0$  тыс. шт/га – на 3,2% и

густотой 2,0–3,9 тыс. шт/га – на 12,7% площади припевающих и спелых древостоев. И таким образом, еловая формация способна при поддержке мероприятий по содействию практически удвоить занимаемую площадь.

Достоверных отличий между типами леса в части встречаемости в них подроста ели по данным, вошедшим в табл. 1, не выявлено. Бо-

лее информативным оказалось выполнение анализа исследуемой выборки в рамках типологических категорий лесов (табл. 3).

В типологической структуре исследуемого возобновления ели выделяются две типологические категории: кустарниково-зеленомошная и неморально-травяная [11]. Кустарниково-зеленомошная категория представлена насаждениями мшистой, брусничной и черничной серий типов леса; неморально-травяная – орляковой, кисличной, снытевой, папоротниковой, крапивной и приручейно-травяной сериями.

Проанализировав данные табл. 3, можно сделать заключение: встречаемость подроста ели в кустарниково-зеленомошной категории значительно (почти в два раза) превышает таковую в неморально-травяной. Наиболее высокая встречаемость подроста ели имеет место в еловой формации, затем по мере убывания размещаются формации сосновая, мелколиственных и широколиственных лесов. В зональном аспекте возобновление ели в широколиственно-сосновой подзоне в пять и более раз меньше по интенсивности, чем в двух других подзонах.

**Заключение.** Подрост ели встречается почти на одной пятой покрытых лесом земель лесного фонда Республики Беларусь, что свидетельствует о высоком уровне возобновительного потенциала еловой формации. Это тем более впечатляет, что Беларусь является границей естественного ареала ели. К тому же и лесорастительные условия (плодородие и влажность почв) не оптимальны для ели.

Можно утверждать с высокой степенью достоверности про отсутствие различий по встречаемости подроста ели между подзонами дубо-

во-темнохвойных и грабово-дубово-темнохвойных лесов. В широколиственно-сосновой подзоне встречаемость елового подроста в пять раз меньше, чем в двух других подзонах.

Подрост ели встречается даже в насаждениях с единичным ее участием в составе древостоя, но при 2–5 единицах елового элемента в составе, складываются оптимальные условия обсеменения и появления возобновления ели. Наиболее благоприятные условия для появления и развития подроста ели складываются в среднеполнотных древостоях. Способствует росту подроста наличие подлеска, среднего или редкого по густоте; густой подлесок угнетает подрост ели.

Различие встречаемости подроста ели в насаждениях различных типов леса не установлено. При генерации типов леса заметна более высокая (почти в два раза) встречаемость подроста ели под пологом древостоев кустарниково-зеленомошной типологической категории лесов по сравнению с неморально-травяной.

Важным показателем естественного возобновления леса является густота подроста на момент главной рубки леса. В общей площади наличествующий в лесном фонде Беларуси еловый подрост представлен густотой  $\geq 4,0$  тыс. шт./га – на 15,4% и 2,0–3,9 тыс. шт./га – 61,1% площади приспевающих и спелых древостоев. Это достаточная база для проведения постепенных или сплошных с сохранением подроста рубок главного пользования. Проведение при этом мер по содействию естественному возобновлению ели обеспечит формирование еловой формации естественного происхождения на площади порядка 12–15% лесных земель. С учетом создания лесных культур можно ожидать при необходимости удвоения площади еловых насаждений.

### Литература

1. Попов П. П., Тишин Д. В. Формовая структура и таксономическая идентификация популяций ели на южной границе ареала // ИПОС СО РАН. 2009. С. 86–98.
2. Корзухин М. Д., Цельникер Ю. Л. Модельный анализ современных ареалов лесных древесных пород на территории России и их вариации при возможных изменениях климата. Проблемы эколог. мониторинга и моделирование экосистем / Изд. Ин-та глобклимата и экологии Росгидромета и РАН. Т. 23. 2010. С. 248–267.
3. Сарнацкий В. В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхналогія, 2009. 334 с.
4. Сравнительный анализ структуры популяций ели европейской (Беларусь) и ели сибирской (Средняя Сибирь) / С. И. Ивановская [и др.] // Сб. науч. работ. Гомель: Ин-т леса, 2009. С. 108–112.
5. Юшкевич М. В., Зеленкевич В. И. Лесоводственная эффективность минерализации почвы после сплошных санитарных рубок ельников кисличных в лесопарковой зоне Минска // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хоз-во. С. 110–112.
6. Сазонов А. А. Проблема массового усыхания ельников и пути ее решения // Лесное и охотничье хоз-во. 2013. № 7. С. 10–15.
7. Рожков Л. Н., Бутковец В. В. Лесовозобновительный потенциал белорусской популяции *Picea abies* в современных условиях // Труды БГТУ. 2017. № 1: Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 18–22.

8. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф., Бельчина О. Г. Экологически приемлемые способы рубок и возобновления при освоении лесосечного фонда в Беларуси // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2014. Вып. 39. С. 80–85.
9. Труль О. А. Математическая статистика в лесном хозяйстве. Минск: Выш. шк., 1966. 233 с.
10. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Биометрия в лесном хозяйстве: учеб. пособие. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. 416 с.
11. Юркевич И. Д., Голод Д. С., Адерихо В. С. Растительность Беларуси, ее картографирование, охрана и использование. Минск: Наука и техника, 1979. 248 с.
12. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2018. Минск: РУП «Белгослес». С. 24–25.

### References

1. Popov P. P., Tishin D. V. Shaped structure and taxonomic identification of spruce populations on the southern boundary of the range. *IPOS SO RAN* [IROS SO RAE], 2009, pp. 86–98 (In Russian).
2. Korzukhin M. D., Tsel'niker Yu. L. Model analysis of modern forest tree species on the territory of Russia and their variations in case of possible climate changes. *Problemy ekolog. monitoringa i modelirovaniye ekosistem. Izd. In-ta globklimata i ekologii Rosgidromeda i RAN* [Problems of environmental monitoring and ecosystem modeling. Publ. of the Institute of globclimat and Ecology of Rosgidromed and the Russian Academy of Sciences], 2010, vol. 23, pp. 248–267 (In Russian).
3. Sarnatskiy V. V. *El'niki: formirovaniye, povysheniye produktivnosti i ustoychivosti v usloviyakh Belarusi* [Spruce forests: formation, increase of productivity and sustainability in the conditions of Belarus]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2009. P. 334.
4. Ivanovskaya S. I. Comparative analysis of the structure of the European spruce and Seberian spruce populations (Central Siberia). *Sb. nauch. rabot* [Collection of scientific papers]. Gomel', In-t lesa Publ., 2009, pp. 108–112 (In Russian).
5. Yushkevich M. V., Zelenkevich V. I. Silvicultural efficiency of soil mineralization. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry, pp. 110–112 (In Russian).
6. Sazonov A. A. The problem of mass drying up of spruce forests and ways to solve it. *Lesnoye i okhotnich'ye khoz-vo* [Forestry and hunting], 2013, no. 7, pp. 10–15 (In Russian).
7. Rozhkov L. N., Butkovets V. V. Forest renewal potential of the Belarusian population picea Abies in modern conditions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 1: Forestry, pp. 18–22 (In Russian).
8. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F., Belchina O. G. Environmentally acceptable methods of logging and renewal during the development of a logging fund in Belarus. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2014, vol. 39, pp. 80–85 (In Russian).
9. Trul' O. A. *Matematicheskaya statistika v lesnom khozyaystve* [Mathematical statistics in forestry]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1966. P. 233.
10. Baginskiy V. F., Lapitskaya O. V. *Biometriya v lesnom khozyaystve* [Biometrics in forestry]. Gomel', GGU im. F. Skoryny Publ., 2011. 416 p.
11. Yurkevich I. D., Golod D. S., Aderikho V. S. *Rastitel'nost' Belarusi, eye kartografirovaniye, okhrana i ispol'zovaniye* [Vegetation of Belarus, its mapping, protection and use]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 248 p.
12. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2018* [The State Forest Cadastre of the Republic of Belarus]. Minsk, RUE "Belgosles" Publ., pp. 24–50 (In Russian).

### 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

**Бутковец Владимир Васильевич** – аспирант лаборатории проблем почвоведения и реабилитации антропогенно нарушенных лесных земель. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: butskavets.u@mail.ru

### Information about the authors

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

**Butskavets Uladzimir Vasil'yevich** – PhD student, the Laboratory of Problems of Soil Science and Rehabilitation of Anthropogenically Disturbed Forest Lands. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: butskavets.u@mail.ru

Поступила 14.10.2018

УДК 630\*231.1:630\*228:630\*176.322.6

**А. В. Углынец, М. В. Кудин, Д. К. Гарбарук**

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЛЕСА  
В ВЫСОКОВОЗРАСТНЫХ ДУБРАВАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ  
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС под влиянием комплекса экологических факторов сокращается площадь дубовых лесов, меняется их типологическая структура. Отсутствие хозяйственной деятельности в течение 30 лет привело к увеличению полноты древостоев и доли других пород в их составе. Это способствовало росту сомкнутости крон древостоев, ухудшению условий освещенности под их пологом и формированию менее густого подлеска, чем в эксплуатируемых лесах.

Естественное возобновление в высоковозрастных дубравах различается по типам леса. Его количество варьирует от средней густоты до густого и очень густого. Количество дуба в подросте дубравы кисличной и дубравы снытевой единичное, в дубравах орляковой и пойменных достигает средней густоты. Из хозяйственно-ценных пород в подросте обычно преобладает клен, в условиях влажных почв – ясень, в пойменных дубравах – дуб.

Неудовлетворительное возобновление дуба, клена и ясеня в дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС обусловлено преобладанием растений мелкой категории крупности. Возобновительный процесс дуба в них сдерживается высокой густотой теневыносливых пород в древесном ярусе или задержанием почв. На возобновление клена и ясеня негативно влияют подрост граба и подлесок крушины. Удовлетворительный ход естественного возобновления дуба протекает в отдельных насаждениях дубравы злаково-пойменной.

**Ключевые слова:** зона отчуждения Чернобыльской АЭС, дубрава, тип леса, предварительное естественное возобновление леса, экологические факторы.

**A. V. Uglyanets, M. V. Kudin, D. K. Garbaruk**

Polesye State Radiation-Ecological Reserve

**PRELIMINARY NATURAL FOREST REGENERATION  
IN OVERGROWN OAK FORESTS  
OF THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE**

In the zone exclusion of the Chernobyl NPP under the influence of a complex of environmental factors, the area of oak forests is reduced, their typological structure is changing. The lack of economic activity for 30 years has led to the increase in the density of the stands and the proportion of other species in their composition. This contributed to the growth of the density of the crowns of the stands, the deterioration of lighting conditions under their canopy and the formation of a less dense understory than in the exploited forests.

Natural regeneration in high-aged oak forests differs by forest types. Its quantity varies from medium density to thick and very thick. The number of oak in the undergrowth of oak groves osseous and snyte is single, in the eagle and floodplain reaches an average density. Among the economically valuable species in the undergrowth, the maple usually prevails, in the conditions of moist soils – the ash, in the floodplain oak forests – the oak.

Unsatisfactory renewal of oak, maple and ash in the oak forests of the exclusion zone of the Chernobyl NPP is due to the predominance of small plants. The regeneration of oak in is area hampered by the high density of shade-tolerant species in the woody layer or by soil contamination. The regeneration of maple and ash is negatively affected by the undergrowth of the hornbeam and the understory of the buckthorn. The satisfactory course of natural regeneration of oak occurs in separate plantations of oak groves in the grass-flood plain.

**Key words:** Chernobyl Exclusion Zone, oak forest, forest type, preliminary natural forest regeneration, ecological factors.

**Введение.** В Белорусском Полесье сосредоточено 63% дубовых лесов Беларуси [1]. За 1978–2015 гг. их удельный вес в структуре лесных формаций региона сократился на 1,24% [2]. Вследствие снижения биологиче-

ской устойчивости и репродуктивной способности дубрав значительно ухудшился ход естественного возобновления под их пологом. За 60 лет густота подроста дуба в стране снизилась в десятки раз [3, 4].

В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, расположенной на юго-востоке Полесья (в ее пределах функционирует Полесский государственный радиационно-экологический заповедник), доля дубрав за 1975–2011 гг. в сопоставимых границах уменьшилась с 12,7 до 6,2%. Воздействие комплекса биотических и антропогенных факторов привело к снижению площадей дубрав орляковых и черничных, росту дубрав пойменных, незначительно – дубрав снытевых и кисличных [5, 6].

В настоящее время дубовые леса в зоне отчуждения покрывают 7433 га (6,1% лесопокрытой площади). Представлены они экологическими группами внепойменных, или плакорных (63,9%), и пойменных (36,1%) дубрав. В первой группе преобладают дубравы кисличные (28,5% в структуре формации), дубравы орляковые (12,8%) и дубравы снытевые (11,0%), во второй – дубравы злаково-пойменные (11,3%) и дубравы приуслово-пойменные (9,9%).

Естественное возобновление под пологом дубрав в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС в последние 30 лет протекает при отсутствии хозяйственной деятельности.

**Основная часть.** Естественное возобновление изучалось под пологом 75–145-летних дубрав преобладающих типов леса на временных пробных площадях (ВПП). ВПП представляют собой ряд параллельных ходов (трансект), состоящих из последовательно примыкающих друг к другу круговых учетных площадок (КУП) радиусом 178,5 см и площадью 10 м<sup>2</sup> каждая. В выделе закладывалось три и более трансект общей площадью не менее 2% от его площади [7].

Таксационные показатели древостоев (табл. 1) устанавливали на основе измерений диаметров и высот деревьев, которые полностью или более половины толщины входили в КУП.

На КУП учитывались подрост и молодняк с определением вида, происхождения, возраста, высоты, категории состояния (жизнеспособности) каждого растения.

Подрост распределяли по категориям крупности: мелкий (высота до 0,5 м), средний (0,6–1,5 м) и крупный (более 1,5 м). В качестве оценки подроста принимали его густоту, приведенную к преобладающей категории [8].

Встречаемость видов подроста вычисляли отношением количества КУП с их наличием к общему количеству. При встречаемости более 70% подрост размещается равномерно, 40–70% – неравномерно, менее 40% – группами [9].

Жизнеспособность растений подроста устанавливали по нормально облиственной кроне и пропорционально развитым по высоте и диаметру стволикам. Жизненное состояние популяций отдельных видов подроста рассчитывали по В. А. Алексееву [10].

Успешность предварительного возобновления в дубравах определяли по шкале оценки естественного возобновления под пологом твердолиственных насаждений [11].

Устанавливали видовой состав, общую густоту, среднюю высоту подлеска у наиболее распространенных его видов.

В дубравах орляковых восточной части Полесья предварительное возобновление наиболее успешное. Там количество подроста дуба достигает 2,7 тыс. шт./га [12].

Таблица 1

**Лесоводственно-таксационная характеристика  
дубовых насаждений**

| Шифр ВПП  | Тип леса, ТУМ                                | Состав древостоя        | Возраст, лет | Средние |       | Бонитет | Густота, шт./га | Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га | Полнота | Запас, м <sup>3</sup> /га |
|-----------|----------------------------------------------|-------------------------|--------------|---------|-------|---------|-----------------|--------------------------------------------|---------|---------------------------|
|           |                                              |                         |              | Н, м    | Д, см |         |                 |                                            |         |                           |
| Тл 68-8   | Дубрава орляковая, В <sub>2</sub>            | 7ДЗБ + Кл, С, Г         | 135          | 18,8    | 49,5  | IV      | 500             | 48,1                                       | 1,6     | 442                       |
| Тл 101-24 |                                              | 9Д1Б                    | 145          | 20,8    | 55,1  | IV      | 242             | 32,5                                       | 1,0     | 320                       |
| Тл 83-9   | Дубрава орляковая, С <sub>2</sub>            | 7Д2Кл1Я + Олч, Г, В, Б  | 130          | 21,5    | 45,4  | IV      | 494             | 33,2                                       | 1,0     | 323                       |
| Нп 86-46  | Дубрава кисличная, Д <sub>2</sub>            | 8Д1Кл1Г + Я, Ос         | 100          | 23,5    | 36,1  | II      | 650             | 32,0                                       | 1,0     | 317                       |
| Нп 89-2   |                                              | 9Д1Ос + Г, Кл, Б        | 130          | 27,4    | 55,7  | II      | 762             | 54,4                                       | 1,5     | 630                       |
| Нп 91-12  |                                              | 8Д1Ос1Б + Кл, Г, Олч    | 110          | 25,3    | 57,3  | II      | 944             | 55,4                                       | 1,6     | 635                       |
| Бб 1-21   | Дубрава снытевая, Д <sub>3</sub>             | 7Д2Я1Г + Кл, Лп         | 110          | 24,6    | 53,5  | II      | 657             | 46,6                                       | 1,4     | 477                       |
| Бб 6-8    |                                              | 7Д2Г1Кл + Б, В          | 110          | 21,2    | 39,5  | III     | 925             | 35,0                                       | 1,1     | 293                       |
| Нп 86-31  |                                              | 8Д2Г + Кл, В, Лп        | 125          | 23,7    | 46,4  | III     | 627             | 37,8                                       | 1,1     | 379                       |
| Ор 50-61  | Дубрава злаково-пойменная, С <sub>2п</sub>   | 9Д1Ос + Олч, Б, Гш, Ивд | 75           | 15,8    | 35,0  | IV      | 717             | 47,5                                       | 1,8     | 378                       |
| Ор 54-74  |                                              | 10Д + Ивд               | 75           | 15,2    | 25,0  | IV      | 933             | 45,3                                       | 1,7     | 343                       |
| Тл 68-9   | Дубрава приуслово-пойменная, В <sub>2п</sub> | 9Д1Г + Б                | 135          | 18,3    | 41,3  | IV      | 250             | 26,1                                       | 0,9     | 227                       |

В дубравах орляковых зоны отчуждения (табл. 2) общая густота естественного возобновления составляет 2,6–9,1 тыс. шт./га. В составе 8–11 пород. Доминируют дуб (9,4–57,2% от общего количества растений), граб (10,8–21,1%), клен (0,6–61,2%), вяз (до 14,6%), ясень (до 9,0%). Большинство пород подроста встречается группами, дуб и клен чаще всего неравномерно. Подрост хозяйственно-ценных пород (дуб, клен, ясень) распространен только на 4,5% площади этого типа леса. Их доля в составе возобновления варьирует в пределах 57,6–86,7%, густота – 1526–7916 шт./га. Удельный вес благонадежного подроста этих пород превышает 90%. Из-за преобладания

мелких растений естественное возобновление в дубравах орляковых оценивается неудовлетворительно.

В дубравах кисличных Полесья в 1970-х гг. густота естественного возобновления достигала 40–100 тыс. шт./га, в том числе дуба – до 40 тыс. шт./га [13]. Спустя 30 лет количество подроста дуба в них оценивалось в 3,6 тыс. шт./га, клена – в 9,7 тыс. шт./га [14]. В конце 2000-х гг. густота подроста в этом типе леса составляла 1,9 тыс. шт./га, в том числе 1,1 тыс. шт./га дуба [6]. По данным источника [12], количество жизнеспособного подроста в восточной части региона доходит до 4,5 тыс. шт./га, в том числе дуба до 1,4 тыс. шт./га, клена – до 1,6 тыс. шт./га.

Таблица 2

## Предварительное естественное возобновление в дубравах орляковых

| Шифр ВПП  | Порода  | *Густота по категориям крупности, шт./га |         |         |       | Средние      |            | Фактическая густота, шт./га | Доля участия в составе, % | Встречаемость породы, % | Доля благонадежного подроста, % | Жизненное состояние, % | Доля порослевого возобновления, % | Оценка естественного возобновления леса |
|-----------|---------|------------------------------------------|---------|---------|-------|--------------|------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
|           |         | мелкий                                   | средний | крупный | всего | возраст, лет | высота, см |                             |                           |                         |                                 |                        |                                   |                                         |
| Тл 68-8   | Сосна   | –                                        | 17      | –       | 17    | 5            | 72         | 17                          | 0,2                       | 1,7                     | –                               | –                      | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|           | Дуб     | 2 420                                    | –       | –       | 1 458 | 3            | 18         | 2 333                       | 25,5                      | 45,0                    | 97,9                            | 97,0                   | –                                 |                                         |
|           | Граб    | –                                        | –       | 785     | 7 85  | 6            | 68         | 983                         | 10,8                      | 25,0                    | 94,9                            | 98,0                   | –                                 |                                         |
|           | Клен    | 5 707                                    | –       | –       | 5 707 | 5            | 18         | 5 583                       | 61,2                      | 58,3                    | 95,2                            | 99,0                   | –                                 |                                         |
|           | Б. пуш. | 17                                       | –       | –       | 17    | 3            | 33         | 17                          | 0,2                       | 1,7                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|           | Б. пов. | –                                        | –       | 60      | 60    | 7            | 139        | 67                          | 0,7                       | 5,0                     | 100,0                           | 100,0                  | 25,0                              |                                         |
|           | Липа    | 77                                       | –       | –       | 77    | 3            | 33         | 67                          | 0,7                       | 6,7                     | 100,0                           | 100,0                  | 25,0                              |                                         |
|           | Груша   | –                                        | 64      | –       | 64    | 7            | 90         | 67                          | 0,7                       | 5,0                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
| Тл 83-9   | Дуб     | 482                                      | –       | –       | 482   | 2            | 16         | 482                         | 9,4                       | 18,2                    | 59,8                            | 70,0                   | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|           | Граб    | 1 312                                    | –       | –       | 1 312 | 5            | 42         | 1 088                       | 21,1                      | 33,5                    | 95,1                            | 97,0                   | –                                 |                                         |
|           | Ясень   | 481                                      | –       | –       | 481   | 4            | 26         | 465                         | 9,0                       | 21,2                    | 98,7                            | 98,0                   | –                                 |                                         |
|           | Вяз     | –                                        | 676     | –       | 676   | 7            | 81         | 753                         | 14,6                      | 25,3                    | 96,1                            | 98,0                   | –                                 |                                         |
|           | Клен    | 2 172                                    | –       | –       | 2 172 | 4            | 26         | 2 024                       | 39,2                      | 40,6                    | 95,9                            | 99,0                   | –                                 |                                         |
|           | Ольха   | –                                        | –       | 11      | 11    | 4            | 85         | 12                          | 0,2                       | 1,2                     | 50,0                            | 33,0                   | 100,0                             |                                         |
|           | Б. пуш. | –                                        | –       | 38      | 38    | 6            | 168        | 41                          | 0,8                       | 0,6                     | 100,0                           | 100,0                  | 100,0                             |                                         |
|           | Осина   | –                                        | 210     | –       | 210   | 3            | 62         | 253                         | 4,9                       | 12,9                    | 27,9                            | 27,0                   | –                                 |                                         |
|           | Липа    | –                                        | 6       | –       | 6     | 4            | 64         | 6                           | 0,1                       | 0,6                     | 0                               | 70,0                   | –                                 |                                         |
|           | Груша   | 39                                       | –       | –       | 39    | 3            | 34         | 35                          | 0,7                       | 2,9                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|           | Яблоня  | –                                        | –       | –       | –     | –            | –          | –                           | –                         | –                       | –                               | –                      | –                                 |                                         |
| Тл 101-24 | Сосна   | 17                                       | –       | –       | 17    | 6            | 34         | 17                          | 0,6                       | 1,7                     | 50,0                            | 33,0                   | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|           | Дуб     | –                                        | –       | 15      | 15    | 3            | 30         | 1 467                       | 57,2                      | 50,8                    | 93,2                            | 96,0                   | –                                 |                                         |
|           | Граб    | –                                        | 391     | –       | 391   | 5            | 72         | 467                         | 18,2                      | 11,7                    | 92,9                            | 98,0                   | –                                 |                                         |
|           | Ясень   | –                                        | 44      | –       | 44    | 7            | 82         | 42                          | 1,6                       | 4,2                     | 80,0                            | 67,0                   | –                                 |                                         |
|           | Клен    | 17                                       | –       | –       | 17    | 4            | 30         | 17                          | 0,6                       | 1,7                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|           | Ольха   | –                                        | –       | 15      | 15    | 4            | 102        | 17                          | 0,6                       | 0,8                     | 100,0                           | 100,0                  | 50,0                              |                                         |
|           | Б. пуш. | –                                        | 106     | –       | 106   | 5            | 109        | 100                         | 3,9                       | 7,5                     | 83,3                            | 82,0                   | –                                 |                                         |
|           | Б. пов. | –                                        | 32      | –       | 32    | 5            | 56         | 33                          | 1,3                       | 2,5                     | 25,0                            | 95,0                   | –                                 |                                         |
|           | Осина   | –                                        | 308     | –       | 308   | 3            | 68         | 342                         | 13,4                      | 5,8                     | 78,0                            | 73,0                   | –                                 |                                         |
|           | Груша   | 73                                       | –       | –       | 73    | 4            | 57         | 58                          | 2,3                       | 5,0                     | 71,7                            | 71,0                   | 14,3                              |                                         |
|           | Яблоня  | –                                        | 8       | –       | 8     | 5            | 74         | 8                           | 0,3                       | 0,8                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |

\* Приведенная к преобладающей категории крупности.

Таблица 3

## Предварительное естественное возобновление в дубравах кисличных

| Шифр ВПП | Порода  | *Густота по категориям крупности, шт./га |         |         |       | Средние      |            | Фактическая густота, шт./га | Доля участия в составе, % | Встречаемость породы, % | Доля благонадежного подроста, % | Жизненное состояние, % | Доля порослевого возобновления, % | Оценка естественного возобновления леса |
|----------|---------|------------------------------------------|---------|---------|-------|--------------|------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
|          |         | мелкий                                   | средний | крупный | всего | возраст, лет | высота, см |                             |                           |                         |                                 |                        |                                   |                                         |
| Нп 86-46 | Дуб     | 48                                       | –       | –       | 48    | 3            | 29         | 44                          | 1,1                       | 4,4                     | 100,0                           | 100,0                  | 14,3                              | Неудовлетворительное                    |
|          | Граб    | –                                        | –       | 631     | 631   | 6            | 82         | 800                         | 20,3                      | 26,3                    | 93,8                            | 96,0                   | 4,7                               |                                         |
|          | Ясень   | 329                                      | –       | –       | 329   | 3            | 18         | 219                         | 5,6                       | 11,3                    | 97,1                            | 94,0                   | –                                 |                                         |
|          | Вяз     | 736                                      | –       | –       | 736   | 5            | 50         | 594                         | 15,1                      | 12,5                    | 95,8                            | 97,0                   | –                                 |                                         |
|          | Клен    | 1 988                                    | –       | –       | 1 988 | 5            | 21         | 1 938                       | 49,3                      | 28,8                    | 98,4                            | 98,0                   | –                                 |                                         |
|          | Осина   | –                                        | 203     | –       | 203   | 2            | 40         | 163                         | 4,1                       | 8,8                     | 50,0                            | 41,0                   | 11,5                              |                                         |
|          | Липа    | –                                        | 149     | –       | 149   | 5            | 67         | 169                         | 4,3                       | 7,5                     | 92,6                            | 92,0                   | –                                 |                                         |
|          | Груша   | 6                                        | –       | –       | 6     | 3            | 21         | 6                           | 0,2                       | 0,6                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
| Нп 89-2  | Дуб     | 74                                       | –       | –       | 74    | 2            | 25         | 69                          | 1,1                       | 6,2                     | 88,9                            | 97,0                   | 22,2                              | Неудовлетворительное                    |
|          | Граб    | –                                        | –       | 1 645   | 1 645 | 8            | 79         | 2 077                       | 32,8                      | 56,2                    | 91,1                            | 89,0                   | 3,7                               |                                         |
|          | Ясень   | 94                                       | –       | –       | 94    | 3            | 31         | 85                          | 1,3                       | 5,4                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Вяз     | 46                                       | –       | –       | 46    | 2            | 27         | 46                          | 0,7                       | 3,1                     | 83,3                            | 71,0                   | –                                 |                                         |
|          | Клен    | 3 672                                    | –       | –       | 3 672 | 7            | 38         | 3 192                       | 50,4                      | 71,5                    | 86,5                            | 88,0                   | –                                 |                                         |
|          | Осина   | 892                                      | –       | –       | 892   | 2            | 35         | 823                         | 13,1                      | 36,9                    | 53,3                            | 49,0                   | –                                 |                                         |
|          | Липа    | –                                        | –       | 23      | 23    | 2            | 12         | 31                          | 0,5                       | 2,3                     | 75,0                            | 93,0                   | –                                 |                                         |
|          | Груша   | –                                        | –       | 8       | 8     | 8            | 164        | 8                           | 0,1                       | 0,8                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
| Нп 91-12 | Дуб     | 69                                       | –       | –       | 69    | 7            | 33         | 64                          | 1,2                       | 4,8                     | 100,0                           | 100,0                  | 12,5                              | Неудовлетворительное                    |
|          | Граб    | 2 113                                    | –       | –       | 2 113 | 5            | 73         | 2 528                       | 48,8                      | 81,6                    | 82,6                            | 82,0                   | 3,8                               |                                         |
|          | Ясень   | –                                        | 374     | –       | 374   | 5            | 41         | 528                         | 10,1                      | 31,2                    | 97,0                            | 99,0                   | –                                 |                                         |
|          | Вяз     | 29                                       | –       | –       | 29    | 4            | 56         | 24                          | 0,5                       | 2,4                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Клен    | 2 090                                    | –       | –       | 2 090 | 7            | 35         | 1 856                       | 35,8                      | 56,8                    | 92,2                            | 96,0                   | –                                 |                                         |
|          | Б. пов. | –                                        | 21      | –       | 21    | 2            | 56         | 24                          | 0,5                       | 2,4                     | 33,3                            | 43,0                   | 100,0                             |                                         |
|          | Осина   | 184                                      | –       | –       | 184   | 2            | 35         | 144                         | 2,8                       | 9,6                     | 38,9                            | 28,0                   | –                                 |                                         |
|          | Груша   | –                                        | 13      | –       | 13    | 5            | 94         | 16                          | 0,3                       | 1,6                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |

\* Приведенная к преобладающей категории крупности.

В дубравах кисличных зоны отчуждения (табл. 3) в подросте встречается 8 древесных видов. При общей густоте возобновления 3,9–6,3 тыс. шт./га на хозяйственно-ценные породы приходится 2,2–3,3 тыс. шт./га, или 47,1–56,0% состава.

Преобладает клен (35,8–50,4%), немного ясеня (1,3–10,1%) и очень мало дуба (1,1–1,2%). Подрост этих пород встречается на 32% площади приспевающих и спелых насаждений дубрав кисличных.

В составе естественного возобновления высокая представленность граба – 20,3–48,8%, средняя высота популяций которого (73–82 см) в два и более раз превышает среднюю высоту дуба (25–33 см), ясеня (18–41 см) и клена (21–38 см). В некоторых насаждениях присутствует примесь ильма шершавого (до 15,1%) и осины (до 13,1%). У ясеня насчитывается 97,0–100,0%

благонадежного подроста, у клена – 86,5–98,4%, у дуба – 8,9–100,0%. Все популяции хозяйственно-ценных пород здоровые. Наличие у дуба порослевого возобновления (12,5–22,2%) снижает качество его подроста. Большинство видов естественного возобновления имеют групповое распространение.

Низкая густота и малая высота подроста обуславливают неудовлетворительный ход возобновительного процесса как дуба, так и совокупности хозяйственно-ценных пород.

В дубравах снытевых Беларуси в 2000-х гг. общее количество подроста составляло в среднем 47,4 тыс. шт./га, в том числе дуба – 11,4%, ясеня – 32,7%, клена – 21,3% [14]. В настоящее время в этом типе леса численность подроста дуба и клена самая низкая в Полесье и составляет 1366 и 1325 шт./га соответственно [12].

Таблица 4

## Предварительное естественное возобновление в дубравах снытевых

| Шифр ВПП | Порода | *Густота по категориям крупности, шт./га |         |         |        | Средние      |            | Фактическая густота, шт./га | Доля участия в составе, % | Встречаемость породы, % | Доля благонадежного подроста, % | Жизненное состояние, % | Доля порослевого возобновления, % | Оценка естественного возобновления леса |
|----------|--------|------------------------------------------|---------|---------|--------|--------------|------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
|          |        | мелкий                                   | средний | крупный | всего  | возраст, лет | высота, см |                             |                           |                         |                                 |                        |                                   |                                         |
| Бб 1-21  | Дуб    | 180                                      | –       | –       | 180    | 2            | 21         | 171                         | 0,6                       | 12,9                    | 83,3                            | 89,0                   | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|          | Граб   | 2 380                                    | –       | –       | 2 380  | 4            | 28         | 2 057                       | 6,7                       | 50,0                    | 0                               | 0                      | 2,1                               |                                         |
|          | Ясень  | 11 760                                   | –       | –       | 11 760 | 3            | 28         | 11 129                      | 36,3                      | 81,4                    | 98,7                            | 99,0                   | 0,1                               |                                         |
|          | Вяз    | –                                        | 1 201   | –       | 1 201  | 5            | 66         | 1 429                       | 4,7                       | 44,3                    | 92,0                            | 96,0                   | 3,0                               |                                         |
|          | Клен   | 16 049                                   | –       | –       | 16 049 | 4            | 25         | 15 357                      | 50,2                      | 97,1                    | 95,0                            | 98,0                   | 0,1                               |                                         |
|          | Осина  | 234                                      | –       | –       | 234    | 2            | 42         | 200                         | 0,7                       | 14,3                    | 78,6                            | 80,0                   | –                                 |                                         |
|          | Липа   | –                                        | 237     | –       | 237    | 5            | 75         | 257                         | 0,8                       | 14,3                    | 77,8                            | 83,0                   | 27,8                              |                                         |
| Бб 6-8   | Дуб    | 133                                      | –       | –       | 133    | 1            | 23         | 133                         | 0,7                       | 10,0                    | 93,8                            | 98,0                   | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|          | Граб   | 1 490                                    | –       | –       | 1 490  | 5            | 46         | 1 183                       | 6,1                       | 36,7                    | 97,9                            | 99,0                   | 4,9                               |                                         |
|          | Ясень  | 6 368                                    | –       | –       | 6 368  | 4            | 31         | 5 908                       | 30,4                      | 87,5                    | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Вяз    | –                                        | 5 535   | –       | 5 535  | 6            | 59         | 6 733                       | 34,6                      | 91,7                    | 99,1                            | 99,0                   | 0,1                               |                                         |
|          | Клен   | 5 940                                    | –       | –       | 5 940  | 5            | 39         | 5 150                       | 26,5                      | 94,2                    | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Липа   | 453                                      | –       | –       | 453    | 6            | 65         | 333                         | 1,7                       | 20,8                    | 95,0                            | 99,0                   | 15,0                              |                                         |
| Нп 86-31 | Дуб    | 267                                      | –       | –       | 267    | 2            | 16         | 267                         | 2,6                       | 12,0                    | 85,0                            | 96,0                   | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|          | Граб   | 920                                      | –       | –       | 920    | 6            | 57         | 667                         | 6,4                       | 24,0                    | 88,0                            | 92,0                   | 8,0                               |                                         |
|          | Ясень  | 987                                      | –       | –       | 987    | 4            | 44         | 787                         | 7,5                       | 38,7                    | 94,9                            | 98,0                   | –                                 |                                         |
|          | Вяз    | 3 093                                    | –       | –       | 3 093  | 5            | 53         | 2 440                       | 23,4                      | 60,0                    | 98,4                            | 99,0                   | –                                 |                                         |
|          | Клен   | 6 296                                    | –       | –       | 6 296  | 4            | 37         | 5 520                       | 52,8                      | 80,0                    | 95,9                            | 97,0                   | –                                 |                                         |
|          | Осина  | 435                                      | –       | –       | 435    | 3            | 46         | 347                         | 3,3                       | 20,0                    | 38,5                            | 57,0                   | 15,4                              |                                         |
|          | Липа   | –                                        | 391     | –       | 391    | 7            | 86         | 413                         | 4,0                       | 12,0                    | 96,8                            | 99,0                   | 3,2                               |                                         |

\* Приведенная к преобладающей категории крупности.

В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС в составе естественного возобновления дубрав снытевых (табл. 4) встречается 6–7 пород. Его густота очень высокая – 10,4–30,6 тыс. шт./га. Наибольшее количество подроста приходится на клен (26,5–52,8% состава), ясень (7,5–36,3%) и вяз (4,7–34,6%). Установлено стабильное присутствие граба на уровне 6,1–6,7%.

Доля хозяйственно-ценных пород в подросте составляет 56,7–87,1%, густота – 6,6–26,6 тыс. шт./га. Дуб встречается очень редко – 133–267 шт./га. Пространственное размещение клена равномерное, вяза и ясеня – равномерное, неравномерное и групповое. Подрост других пород встречается в основном группами. Удельный вес благонадежного подроста у большинства древесных видов превышает 80%. У граба, липы и осины доля возобновления порослевого происхождения составляет 2,1–8,0%, 3,2–27,8% и 15,4% соответственно. Естественное возобновление твердолиственных пород в дубравах снытевых представлено в основной массе мелкими растениями. Поэтому, несмотря на высокую густоту, оно оценивается неудовлетворительно.

*Пойменные дубравы.* В 1970-е гг. в пойме Припяти естественное возобновление в дубравах злаково-пойменных протекало удовлетворительно [15], а в дубравах прируслово-пойменных – хорошо [16]. В середине 1980-х гг. его густота достигала 10–15 тыс. шт./га [17]. Но в середине 2000-х гг. подрост встречался в немногих насаждениях дубрав злаково-пойменных и был представлен куртинами крупного ясеня (до 400 шт./га), ильма шершавого и мелколистственных пород [18].

В пойменных дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (табл. 5) густота подроста, состоящего из 4–8 видов, составляет 1,4–5,2 тыс. шт./га. В дубравах злаково-пойменных (ВПП Ор 50-61 и Ор 54-74) его количество достаточно высокое – 4,0–5,2 тыс. шт./га. В составе преобладают дуб (1,1–3,4 тыс. шт./га, или 27,2–65,5% состава) и осина (1,4–1,9 тыс. шт./га, или 26,4–47,7%). Присутствуют береза повислая (8,8%), тополь черный, или осокорь (1,3%), ольха черная (0,8%), ильм шершавый и сосна (по 0,4%). Для дуба характерно неравномерное распределение по площади, для остальных видов – групповое.

Таблица 5

## Предварительное естественное возобновление в пойменных дубравах

| Шифр ВПП | Порода      | *Густота по категориям крупности, шт./га |         |         |       | Средние      |            | Фактическая густота, шт./га | Доля участия в составе, % | Встречаемость породы, % | Доля благонадежного подроста, % | Жизненное состояние, % | Доля порослевого возобновления, % | Оценка естественного возобновления леса |
|----------|-------------|------------------------------------------|---------|---------|-------|--------------|------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
|          |             | мелкий                                   | средний | крупный | всего | возраст, лет | высота, см |                             |                           |                         |                                 |                        |                                   |                                         |
| Op 50-61 | Сосна       | –                                        | 17      | –       | 17    | –            | 139        | 17                          | 0,4                       | 1,7                     | 0                               | 0                      | –                                 | Удовлетворительное                      |
|          | Дуб         | 1 447                                    | –       | –       | 1 447 | 5            | 51         | 1 083                       | 27,2                      | 45,0                    | 69,2                            | 67,0                   | 6,2                               |                                         |
|          | Б. пов.     | –                                        | –       | 315     | 315   | 5            | 83         | 350                         | 8,8                       | 10,0                    | 66,7                            | 68,0                   | 19,0                              |                                         |
|          | Ольха       | –                                        | 33      | –       | 33    | 4            | 77         | 33                          | 0,8                       | 3,3                     | 100,0                           | 100,0                  | 100,0                             |                                         |
|          | Осина       | –                                        | 1 914   | –       | 1 914 | 4            | 100        | 1 900                       | 47,7                      | 28,3                    | 82,5                            | 84,0                   | 5,3                               |                                         |
|          | Тополь чер. | –                                        | 54      | –       | 54    | 5            | 73         | 50                          | 1,3                       | 5,0                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Груша       | –                                        | 357     | –       | 357   | 6            | 78         | 400                         | 10,0                      | 23,3                    | 87,5                            | 96,0                   | –                                 |                                         |
|          | Яблоня      | –                                        | 163     | –       | 163   | 6            | 119        | 150                         | 3,8                       | 13,3                    | 55,6                            | 71,0                   | –                                 |                                         |
| Op 54-74 | Дуб         | 3 716                                    | –       | –       | 3 716 | 4            | 22         | 3 422                       | 65,5                      | 55,6                    | 92,9                            | 91,0                   | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|          | Вяз ш.      | –                                        | 22      | –       | 22    | 12           | 132        | 22                          | 0,4                       | 2,2                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Осина       | –                                        | 1 310   | –       | 1 310 | 4            | 87         | 1 378                       | 26,4                      | 31,1                    | 62,9                            | 56,0                   | –                                 |                                         |
|          | Груша       | –                                        | 389     | –       | 389   | 5            | 76         | 400                         | 7,7                       | 24,4                    | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
| Тл 8-9   | Дуб         | 533                                      | –       | –       | 533   | 3            | 16         | 533                         | 37,6                      | 20,0                    | 37,5                            | 78,0                   | –                                 | Неудовлетворительное                    |
|          | Граб        | 633                                      | –       | –       | 633   | 5            | 50         | 500                         | 35,2                      | 16,7                    | 96,7                            | 99,0                   | 3,3                               |                                         |
|          | Клен        | 393                                      | –       | –       | 393   | 8            | 53         | 317                         | 22,4                      | 15,0                    | 73,7                            | 92,0                   | –                                 |                                         |
|          | Б. пов.     | –                                        | 33      | –       | 33    | 5            | 95         | 33                          | 2,4                       | 1,7                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Ольха       | 17                                       | –       | –       | 17    | 1            | 16         | 17                          | 1,2                       | 1,7                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |
|          | Груша       | 17                                       | –       | –       | 17    | 5            | 32         | 17                          | 1,2                       | 1,7                     | 100,0                           | 100,0                  | –                                 |                                         |

\* Приведенная к преобладающей категории крупности.

Доля благонадежного подроста дуба составляет 69,2–92,9%. Порослевое происхождение имеет 6,2% возобновления этой породы.

В дубраве прируслово-пойменной (ВПП Тл 68-9) подрост редкий (1,4 тыс. шт./га) из 6 видов. Преобладают дуб, граб и клен – 95,2% растений. На хозяйственно-ценные породы приходится 72,8% состава подроста. Их густота 1,2 тыс. шт./га.

Подрост всех видов размещается группами. Доля благонадежного подроста дуба равна 78,0%, клена – 92,0%. Превалирование мелкой категории крупности указывает на неудовлетворительное протекание процесса возобновления этих пород. В дубраве злаково-пойменной (Op 50-61) ход возобновления удовлетворительный.

На естественное возобновление в дубравах влияет ряд экологических факторов. Наиболее важными являются эдафические условия, состав и полнота древостоя, сомкнутость крон древесного яруса, подлесок, подрост других пород, прежде всего граба, степень задернения почв [6, 7, 12–14, 19]. Их воздействие происходит на фоне снижения биологической устойчивости и репродуктивной способности дубрав [7], а в зоне отчуждения – и в условиях естественного развития насаждений.

Ход естественного возобновления под пологом дубрав определяется, прежде всего, эдафиче-

скими условиями и существенно различается по типам леса. Густой и очень густой подрост всех пород образуется в высоковозрастных дубравах снытевых, средней густоты – в дубравах орляковых и дубравах кисличных, средней густоты и редкий – в дубравах пойменных (табл. 6).

Во внепойменных условиях минимальное количество естественного возобновления дуба установлено в дубравах кисличных (44–69 шт./га) и дубравах снытевых (133–267 шт./га). В дубравах орляковых и пойменных оно возрастает до 0,5–2,3 и 0,5–3,4 тыс. шт./га соответственно.

Заслуживает внимания широкое распространение в подросте хозяйственно-ценных спутников дуба, среди которых преобладает клен. Его густота в дубравах снытевых составляет 5,2–15,4 тыс. шт./га, орляковых – до 5,6 тыс. шт./га, кисличных – 1,8–3,2 тыс. шт./га. Подрост ясеня в значимых количествах образуется лишь в условиях влажных почв. В отдельных насаждениях дубравы снытевой количество его возобновления находится на уровне 5,9–11,1 тыс. шт./га. Общая густота естественного возобновления твердолиственных хозяйственно-ценных пород в дубравах орляковых находится в пределах 1,5–7,9 тыс. шт./га, кисличных – 2,2–3,3 тыс. шт./га и снытевых – 6,6–26,6 тыс. шт./га.

Таблица 6

**Обобщенные показатели естественного возобновления хозяйственно-ценных пород в дубравах**

| Тип леса / ТУМ                         | Густота подроста, шт./га / средний возраст, лет / средняя высота, см |                     |                      |                       |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
|                                        | дуб                                                                  | ясень               | клен                 | все породы*           |
| Д ор/В <sub>2</sub> , С <sub>2</sub>   | 482–2333/2–3/16–30                                                   | 42–465/4–7/26–82    | 17–5583/4–5/18–30    | 2568–9134/4–5/25–48   |
| Д кис/Д <sub>2</sub>                   | 44–69/2–7/25–33                                                      | 41–219/3–5/18–41    | 1856–3192/5–7/21–38  | 3933–6331/5–6/40–54   |
| Д сн/Д <sub>3</sub>                    | 133–267/1–2/16–21                                                    | 787–11129/3–4/28–44 | 5151–15357/4–5/25–39 | 10441–30600/4–5/23–44 |
| Д пм/В <sub>2п</sub> , С <sub>2п</sub> | 533–3422/3–5/16–51                                                   | –                   | 317/8/53             | 1417–5222/4–5/38–83   |

\* Показатели возраста и высоты – средневзвешенные.

В подросте пойменных дубрав преобладает дуб. Ясень в них не отмечен, а присутствие клена незначительно.

Существенную роль в естественном возобновлении под пологом дубрав играет древостой. В чистых насаждениях этой породы подрост дуба практически нет. С ростом доли примеси лиственных пород в составе древостоев количество возобновления дуба увеличивается, но не превышает 1 тыс. шт./га [19].

Корреляционный анализ (табл. 7) не выявил связи общей густоты подроста и густоты подрост дуба, ясеня и клена с густотой и полнотой древостоев в дубравах зоны отчуждения.

Вместе с тем высокая доля примеси теневыносливых пород (граба, клена, липы) в древесном ярусе (13,4–76,6% от общего количества деревьев) в сочетании с высокой полнотой дре-

востоев (1,0–1,6) и сомкнутостью крон создают жесткие условия светового режима под пологом леса, что негативно отражается на количестве естественного возобновления дуба (табл. 7).

В редкой (250 шт./га) дубраве прируслово-пойменной образуется плотный травяной покров с преобладанием злаков, который сдерживает возобновление дуба (533 шт./га). В более густых (717–933 шт./га) дубравах злаково-пойменных его количество возрастает (1083–3422 шт./га).

В зоне отчуждения густота подлеска в дубравах орляковых составляет 4,9–28,4 тыс. шт./га, в дубраве прируслово-пойменной – 14,2 тыс. шт./га, в дубравах снытевых – 4,8–5,7 тыс. шт./га, злаково-пойменных – 5,7–5,8 тыс. шт./га, кисличных – 2,3–4,0 тыс. шт./га (табл. 8). Это ниже, чем в среднем по Беларуси [20].

Таблица 7

**Коэффициенты корреляции густоты подроста с полнотой и густотой древостоя и теневыносливых пород**

| Таксационные показатели                  | Густота подроста |       |       |       |
|------------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|
|                                          | дуб              | ясень | клен  | общая |
| Густота древостоя, шт./га                | –0,019           | 0,212 | 0,292 | 0,287 |
| Полнота древостоя                        | 0,442            | 0,173 | 0,384 | 0,060 |
| Число стволов граба, шт./га              | –0,645           | 0,242 | 0,222 | 0,408 |
| Число стволов граба и клена, шт./га      | –0,704           | 0,238 | 0,198 | 0,395 |
| Число стволов граба, клена и липы шт./га | –0,841           | 0,557 | 0,304 | 0,438 |

Таблица 8

**Характеристика подлеска в дубравах**

| Шифр ВПП  | Густота, шт./га |         |        |         | Средняя высота, м |         |        |         |
|-----------|-----------------|---------|--------|---------|-------------------|---------|--------|---------|
|           | общая           | крушина | лещина | свидина | общая             | крушина | лещина | свидина |
| Тл 68-8   | 28 450          | –       | 833    | 750     | 33                | –       | 254    | 51      |
| Тл 101-24 | 4 908           | 2 708   | 475    | 892     | 99                | 118     | 125    | 66      |
| Тл 83-9   | 21 283          | 512     | 1 088  | 1 935   | 59                | 115     | 236    | 129     |
| Нп 86-46  | 3 963           | 2 381   | 250    | 50      | 71                | 83      | 169    | 131     |
| Нп 89-2   | 3 053           | 1 700   | 154    | 15      | 73                | 82      | 208    | 147     |
| Нп 91-12  | 2 316           | 504     | 480    | 96      | 78                | 64      | 221    | 100     |
| Бб 1-21   | 4 840           | 14      | 871    | 257     | 58                | 20      | 148    | 134     |
| Бб 6-8    | 5 716           | 258     | 683    | 517     | 52                | 42      | 112    | 91      |
| Нп 86-31  | 4 961           | 1 400   | 827    | 387     | 55                | 40      | 139    | 51      |
| Ор 50-61  | 5 701           | 4 467   | –      | –       | 167               | 185     | –      | –       |
| Ор 54-74  | 5 822           | 5 378   | –      | –       | 127               | 134     | –      | –       |
| Тл 68-9   | 14 150          | 150     | 133    | 17      | 24                | 104     | 213    | 19      |

В подлеске дубрав орляковых преобладают низкорослые бересклеты европейский (48,9–58,2% состава) и бородавчатый (19,8–44,9%), высокорослая крушина (2,4–55,2%), содоминируют крупные растения лещины (2,9–9,7%) и свидины (2,6–18,2%). В дубравах кисличных усиливают свои позиции крушина (21,8–60,1%) и лещина (5,0–20,8%). В дубравах снытевых доминирует крушина (до 28,2%) при высоком удельном весе лещины – 4,7–18,0%. Возрастает доля свидины. В дубравах злаково-пойменных преобладает крушина (78,4–92,4%), в дубраве прируслово-пойменной – бересклеты европейский (69,0%) и бородавчатый (28,5%).

Согласно данным корреляционного анализа (табл. 9), подлесок и наиболее распространенные его виды влияния на возобновление дуба не оказывают. Установлена обратная связь средней силы между густотой клена, ясеня, общей густотой подроста со средней высотой подлеска крушины. Прослеживается слабая обратная связь этих компонентов подроста с густотой крушины.

Таблица 9

**Коэффициенты корреляции густоты подроста хозяйственно-ценных пород с некоторыми показателями подлеска**

| Таксационные показатели             | Густота подроста |        |        |        |
|-------------------------------------|------------------|--------|--------|--------|
|                                     | дуб              | ясень  | клен   | общая  |
| Общая густота подлеска, шт./га      | 0,337            | –0,093 | –0,069 | –0,122 |
| Средняя высота подлеска, см         | 0,364            | –0,495 | –0,199 | –0,269 |
| Густота подлеска крушины, шт./га    | 0,791            | –0,633 | –0,435 | –0,428 |
| Средняя высота подлеска крушины, см | 0,580            | –0,718 | –0,813 | –0,699 |
| Густота подлеска лещины, шт./га     | 0,233            | 0,407  | 0,488  | 0,484  |
| Средняя высота подлеска лещины, см  | 0,297            | –0,431 | –0,245 | –0,428 |
| Густота подлеска свидины, шт./га    | 0,368            | –0,197 | –0,124 | –0,091 |
| Средняя высота подлеска свидины, см | –0,513           | 0,196  | 0,291  | 0,292  |

В плакорных дубравах средний возраст возобновления дуба под пологом материнского древостоя составляет 2–3 года (табл. 6), что согласуется с данными [14], средняя высота – 16–33 см. Подрост большинства пород старше и выше дуба. Только теневыносливый клен имеет близкие с ним показатели средней высоты в дубравах кисличных и орляковых. В пойменных дубравах возраст подрост дуба 3–5 лет, но в росте в высоту уступает другим породам.

Из видов подроста наибольшее отрицательное влияние на предварительное естественное возобновление дуба под пологом оказывает граб [7]. Однако для дубрав зоны отчуждения это не подтверждено. Для них установлена отрицательная корреляционная связь средней силы между средней высотой подрост граба и количеством возобновления ясеня и клена, а также общей густотой ценных твердолиственных пород (табл. 10).

Таблица 10

**Коэффициенты корреляции густоты подроста хозяйственно-ценных пород с некоторыми показателями подроста**

| Таксационные показатели                                                         | Густота подроста |        |        |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|--------|------------------|
|                                                                                 | дуб              | ясень  | клен   | дуб, клен, ясень |
| Густота подроста всех пород (кроме дуба), шт./га                                | –0,265           | –      | –      | –                |
| Густота подроста без дуба и клена, шт./га                                       | –0,406           | –      | –      | –                |
| Густота подроста без дуба, ясеня и клена, шт./га                                | –0,456           | 0,554  | 0,414  | 0,475            |
| Густота подрост граба, шт./га                                                   | –0,418           | 0,278  | 0,395  | –0,333           |
| Средняя высота подрост граба, см                                                | 0,155            | –0,784 | –0,610 | –0,679           |
| Общая густота высоко-рослого подлеска и подрост без дуба, ясеня и клена, шт./га | 0,433            | 0,199  | 0,144  | 0,124            |

Таким образом, в зоне отчуждения, несмотря на 30-летнее отсутствие хозяйственной деятельности, естественное возобновление в высоковозрастных дубравах лимитируется в основном теми же экологическими факторами, что и в эксплуатируемых лесах Полесья.

Отличительной особенностью лесовозобновительного процесса в плакорных дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС по сравнению с прилегающей к ней восточной частью Полесья [12] является пониженное количество подрост дуба, повышенные густота и доля участия в составе подрост хозяйственно-ценных пород, особенно клена, а в дубравах снытевых – ясеня. Подчеркнем повышенную густоту дуба в пойменных дубравах.

Несмотря на наличие в ряде насаждений достаточного количества благонадежного подрост дуба и хозяйственно-ценных его спутников, прогнозировать развитие ситуации в естественно развивающихся дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС сложно.

**Заключение.** Высоковозрастные дубравы в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС характеризуются преимущественно высокой полнотой древостоев и значительной долей примеси теневыносливых пород, которые обуславливают жесткие условия светового режима под пологом. Улучшение освещенности приводит к развитию мощного разнотравно-злакового напочвенного покрова и густого подлеска.

Видовой состав подлеска в дубравах зоны отчуждения довольно богатый, но его густота (2,3–21,3 тыс. шт./га) в целом ниже, чем по стране.

Ход естественного возобновления существенно различается по типам леса. В плакорных дубравах подрост характеризуется довольно богатым видовым составом. Густота дуба и ценных твердолиственных пород (клена и ясеня) в них колеблется в пределах 2,6–30,6 тыс. шт./га, увеличиваясь от дубрав орляковых и кисличных до снытевых. Дуб в значимых количествах (до 2,3 тыс. шт./га) встречается только в дубравах орляковых, ясень – в снытевых (до 11,1 тыс. шт./га), клен – во всех типах дубрав этой экологической группы. В дубравах

кисличных и снытевых присутствие дуба единичное. Лесовозобновление в них протекает чаще всего с преобладанием клена и ясеня.

В пойменных дубравах по сравнению с плакорными подрост старше и выше, видовой состав беднее, общая густота возобновления (1,4–5,5 тыс. шт./га), в том числе дуба (0,5–3,4 тыс. шт./га), ниже.

В зоне отчуждения, по сравнению с лесами региона, естественному возобновлению под пологом дубрав свойственны повышенная густота ясеня и клена, пониженная – дуба.

Предварительное естественное возобновление дуба и его хозяйственно-ценных спутников представлено преимущественно мелкой категорией крупности. Ход возобновления дуба и хозяйственно-ценных твердолиственных пород, за исключением отдельных насаждений дубрав злаково-пойменных, протекает неудовлетворительно.

На естественное возобновление дуба негативное воздействие оказывают высокая густота теневыносливых пород (граба, клена, липы) в древесном ярусе, задержание почв, на возобновление клена и ясеня – подрост граба и подлесок крушины.

### Литература

1. Юркевич И. Д. Дубравы Белорусской ССР и их восстановление. Минск: Гос. изд. БССР, 1951. 218 с.
2. Цвирко Р. В., Пучило А. В., Русецкий С. Г. К вопросу о современном состоянии и динамике лесной растительности Белорусского Полесья // 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. 2. С. 347–350.
3. Потапенко А. М., Гримашевич В. В. Естественное возобновление плакорных дубрав Беларуси: состояние и перспективы // Труды Института леса. Вып. 70: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2010. С. 88–97.
4. Потапенко А. М. Анализ естественного возобновления дуба черешчатого в юго-восточной части Беларуси // Труды Института леса. Вып. 71: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2011. С. 118–132.
5. Груммо Д. Г., Сак М. М. Динамика лесной растительности в районе аварии на Чернобыльской АЭС // Труды Института леса. Вып. 73: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2013. С. 416–432.
6. Кудин М. В. Динамика лесоводственно-таксационных показателей насаждений Полесского государственного радиационно-экологического заповедника // Труды Института леса. Вып. 68: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2008. С. 327–338.
7. Грязькин А. В. Способ учета подроста: патент № 2084129. Российская Федерация; опубл. 20.07.97. Бюл. № 20.
8. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь: ТКП 622-2018 (33090). Введ. 12.07.2018. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2018. 96 с.
9. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь: ТКП 047-2009 (02080). Введ. 15.08.09. Минск: БелГИСС, 2009. 105 с.
10. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
11. Инструкция по проведению ежегодной инвентаризации лесных культур, защитных лесных насаждений, питомников и площадей с проведенными мерами содействия естественному возобновлению леса: утв. Приказом Гослесхоза СССР от 20 апр. 1979 г. № 56. М.: ЦБНТИлесхоз, 1979.

12. Усень В. В., Потапенко А. М. Современное состояние дубрав и их естественное возобновление на юго-востоке Беларуси // Труды Института леса. Вып. 77: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2016. С. 135–150.
13. Юркевич И. Д., Ловчий Н. Ф., Гельтман В. С. Леса Белорусского Полесья (геоботанические исследования). Минск: Наука и техника, 1977. 288 с.
14. Шустова С. Ю. Успешность естественного возобновления под пологом дубрав // Труды Института леса. Вып. 63: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2005. С. 126–128.
15. Экспериментальные исследования ландшафтов Припятского заповедника / А. В. Бойко [и др.]. Минск: Наука и техника, 1976. 304 с.
16. Солонович И. А. Пойменные прирусловые дубравы Припяского заповедника // Сб. науч. ст. Припятского гос. ландшафтно-гидрологического заповедника. Вып. 1: Припятский заповедник. Исследования. Минск, 1976. С. 55–75.
17. Кожевников А. М., Андрейчик М. Ф. Оценка состояния и пути повышения производительности дубрав БССР // Труды БТИ. Вып. 22: Лесоведение и лесное хозяйство. Минск, 1987. С. 3–8.
18. Водные ресурсы Национального парка «Припятский», их влияние на состояние лесных экосистем / А. В. Углынец [и др.]. Минск: БГПУ, 2007. 163 с.
19. Смена древесных пород и естественное возобновление в плакорных смешанных дубравах / В. В. Гримашевич [и др.] // Труды Института леса. Вып. 69: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2009. С. 35–45.
20. Шустова С. Ю. Закономерности формирования и структура подлеска в дубравах // Труды Института леса. Вып. 53: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2001. С. 131–133.

### References

1. Yurkevich I. D. *Dubravyy Belorusskoy SSR i ikh vosstanovleniye* [Oak forests of the Byelorussian SSR and their rehabilitation]. Minsk, Gosudarstvennoye izdaniye BSSR Publ., 1951. 218 p.
2. Tsvirko R. V., Puchilo A. V., Rusetski S. G. The issue of modern state and dynamics of forest vegetation in Belarusian Polesia. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii ("Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnikh resursov i ustoychivoye razvitie Poles'ya")* [Papers of the International Scientific Conference ("Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesie")]. Minsk, 2016, vol. 2, pp. 347–350 (In Russian).
3. Potapenko A. M., Grimashevich V. V. Natural regeneration of upland oakwoods in Belarus: condition and prospects. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2010, issue 70, Problems of forest science and forestry, pp. 88–97 (In Russian).
4. Potapenko A. M. Analysis of natural regeneration of pedunculate oak in southeastern Belarus. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2011, issue 71, Problems of forest science and forestry, pp. 118–132 (In Russian).
5. Grummo D. G., Sak M. M. Dynamics of forest vegetation in the area of Chernobyl accident. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2013, issue 73, Problems of forest science and forestry, pp. 416–432 (In Russian).
6. Kudin M. V. Dynamics of taxon-forestry indices of stands in Polesye State Radiation-Ecological Reserve. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2008, issue 68, Problems of forest science and forestry, pp. 327–338 (In Russian).
7. Gryaz'kin A. V. *Sposob ucheta podrosta* [The means of regrowth record]. Patent RF, no. 2084129, 1997.
8. 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, Ministry of forestry of the Republic of Belarus Publ., 2018. 96 p. (In Russian).
9. ТКР 047-2009 (02080). Steady forest management and forest exploitation. Manual on reforestation and afforestation in the Republic of Belarus. Minsk, BelGISS Publ., 2009. 105 p. (In Russian).
10. Alekseev V. A. Life condition diagnostics of trees and tree stands. *Lesovedeniye* [Forest science], 1989, no. 4, pp. 51–57 (In Russian).
11. *Instruktsiya po provedeniyu ezhegodnoy inventarizatsii lesnykh kul'tur, zashchitnykh lesnykh nasa-zhdeniy, pitomnikov i ploshchadey s provedennymi merami sodeystviya estestvennomu vozobnovleniyu lesa* [Instructions for the annual inventory of forest crops, protective forest plantations, nurseries and areas with measures to promote the natural regeneration of the forest]. Moscow, 1979 (In Russian).
12. Usenya V. V., Potapenko A. M. Current state of oak groves and their natural renewal in the south-east of Belarus. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2017, issue 77, Problems of forest science and forestry, pp. 135–150 (In Russian).

13. Yurkevich I. D., Lovchiy N. F., Gel'tman V. S. *Lesy Belorusskogo Poles'ya (geobotanicheskiye issledovaniya)* [Forests of the Belarusian Polesye (geobotanical research)]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1977. 288 p.
14. Shustova S. Yu. Success of natural regeneration under a shelterwood of oak forests. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2005, issue 63, Problems of forest science and forestry, pp. 126–128 (In Russian).
15. Boyko A. V., Smol'skiy N. V., Sidorovich E. A., Evsievich K. M., Loznukho I. V., Arabey N. M., Kirkovskiy K. K., Surovaya T. P., Schastnyy A. K. *Ekspperimental'nyye issledovaniya landshaftov Pripyatskogo zapovednika* [Experimental research of the landscapes of the Pripyatsky reserve]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 304 p.
16. Solonovich I. A. Floodplain oak forests of the Pripyansky reserve. *Sbornik nauchnykh statey Pripyatskogo gosudarstvennogo landshaftno-gidrologicheskogo zapovednika* [Collection of scientific papers of Pripyat State Landscape-Hydrological Reserve], 1976, issue 1, Pripyat Reserve. Research, pp. 55–75 (In Russian).
17. Kozhevnikov A. M., Andreychik M. F. Assessment of the state and ways of increasing the productivity of the oak forests of the BSSR. *Trudy BTI* [Works of the BTI], 1987, issue 22, Forest science and forestry, pp. 3–8 (In Russian).
18. Uglyanets A. V., Vlasov B. P., Khmelevskiy V. I., Rudakovskiy I. A., Gigevich G. S., Arkhipenko T. V., Chekan G. S. *Vodnyye resursy Natsional'nogo parka "Pripyatskiy", ikh vliyaniye na sostoyaniye lesnykh ekosistem* [Water resources of the National park "Pripyatsky", their influence on a forest ecosystems condition]. Minsk, BGPU Publ., 2007. 163 p.
19. Grimashevich V. V., Fedorenko O. N., Potapenko A. M., Levenkova O. V. Succession of tree species and natural regeneration in upland mixed oak forests. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2009, issue 69, Problems of forest science and forestry, pp. 35–45 (In Russian).
20. Shustova S. Yu. Regularities in the formation and structure of undergrowth in oak forests. *Trudy Instituta lesa* [Works of the Institute of Forest], 2001, issue 53, Problems of forest science and forestry, pp. 131–133 (In Russian).

### Информация об авторах

**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

**Кудин Максим Владимирович** – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, Гомельская область, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: max.kudin@mail.ru

**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

### Information about the authors

**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

**Kudin Maksim Vladimirovich** – PhD (Agriculture), Deputy Director for Research. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoyniki, Gomel' region, Republic of Belarus). E-mail: max.kudin@mail.ru

**Garbaruk Dmitriy Konstantinovich** – Senior Researcher, 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

Поступила 06.04.2018

УДК 630\*114.124

**Д. В. Шиман, М. В. Юшкевич, А. С. Клыш**

Белорусский государственный технологический университет

**ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ АБСОРБЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ  
ЛЕСАМИ БЕЛАРУСИ**

Мировое сообщество озабочено нарушением углеродного баланса на планете и предпринимает ряд мер по предотвращению изменения климата, вызванного антропогенными факторами. Передовой международный опыт отдельных стран по смягчению последствий изменения климата базируется на нескольких стратегиях, способствующих поглощению и удержанию углерода лесами, среди которых особое место занимают сохранение существующих и создание новых лесов (удержание накопленного углерода путем сохранения биомассы и почвенного углерода в существующих лесах, борьба с сокращением лесных площадей, увеличение доли особо охраняемых природных территорий; охрана и защита лесных насаждений; лесоразведение), совершенствование лесохозяйственных мероприятий для увеличения количества накапливаемого углерода за счет его поглощения (увеличение древесных запасов через изменение оборота рубки, повторяемости рубок ухода; увеличение прироста лесных насаждений; применение экологически щадящих видов рубок, технологий лесозаготовок), замещение материалов и ископаемого топлива (использование древесины для производства более долговечных изделий и конструкций вместо энергоемких бетона, стали и других материалов и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо; совершенствование технологий деревообрабатывающих производств; использование древесины в качестве топлива, в том числе отходов лесозаготовок и деревообработки в качестве сырья для производства биотоплива и др.). Подробный анализ названных стратегий позволил сформулировать ряд мероприятий по увеличению угледепонирования лесами Беларуси на основе совершенствования системы лесопользования.

**Ключевые слова:** лес, климат, парниковые газы, депонирование, лесопользование.

**D. V. Shiman, M. V. Yushkevich, A. S. Klysh**

Belarusian State Technological University

**ACTIVITIES TO INCREASE CARBON SEQUESTRATION  
IN THE FORESTS OF BELARUS**

The world community is concerned about the carbon imbalance on the planet and is taking a number of measures to prevent climate change caused by anthropogenic factors. The best international practices of individual countries to mitigate climate change are based on several strategies that promote carbon sequestration and retention by forests. The strategy of preserving existing and creating new forests includes: retaining accumulated carbon by preserving biomass and soil carbon in existing forests, combating a reduction in forest area, increasing the share of specially protected natural territories; protection and defense of forest plantations; forestation. Improving forestry measures to increase the amount of accumulated carbon due to its absorption includes: an increase in tree stocks through a change in the felling turnover, the recurrence of thinning; increase in growth of forest plantations; the use of environmentally friendly types of logging, logging technologies. Substitution of materials and fossil fuels includes: the use of wood for the production of more durable products and structures instead of energy-intensive concrete, steel and other materials and thereby reducing the demand for fossil fuels; improvement of woodworking technologies; the use of wood as fuel, including logging and woodworking waste as a raw material for the production of biofuels, etc. A detailed analysis of these strategies allowed us to formulate a number of measures to increase carbon sequestration by the forests of Belarus based on improving the forest management system.

**Key words:** forest, climate, greenhouse gases, carbon sequestration, forest management.

**Введение.** Леса планеты и их роль в глобальном круговороте углерода с каждым годом приобретают для человечества все большее значение. Развитие промышленности, сжигание ископаемых видов топлива, вырубка лесов и другая деятельность человека привела к нарушению углеродного баланса. В связи с этим мировое сообщество озабочено решением данной про-

блемы и предпринимает ряд мер по предотвращению изменения климата, вызванного антропогенной деятельностью. На долю лесов, являющихся естественным стабилизатором газового состава атмосферы за счет фотосинтетического связывания CO<sub>2</sub> растительностью, приходится примерно 80% углерода, поглощаемого наземной биотой. За последние несколько десятиле-

тий мировые леса поглощают до 30% ежегодных глобальных антропогенных выбросов CO<sub>2</sub>, примерно столько же, сколько океаны. Однако разработка и реализация мероприятий по смягчению последствий изменения климата через накопление углерода, снижению его выбросов лесными экосистемами и адаптации лесного хозяйства находится на начальном этапе [1–4].

Цель исследования – предложить мероприятия по увеличению угледепонирования лесами Беларуси на основе изучения передового международного опыта отдельных стран по смягчению последствий изменения климата, вызванных антропогенной деятельностью.

**Основная часть.** В мировой практике существует несколько стратегий, способствующих поглощению и удержанию углерода лесами, среди которых:

- сохранение существующих и создание новых лесов (удержание накопленного углерода за счет сохранения биомассы и почвенного углерода в существующих лесах, в том числе старовозрастных, борьба с сокращением лесных площадей, увеличение доли особо охраняемых природных территорий; охрана и защита лесных насаждений; лесоразведение, в том числе на нарушенных землях, и др.);

- совершенствование лесохозяйственных мероприятий для увеличения количества накапливаемого углерода за счет его поглощения (увеличение древесных запасов за счет корректировки оборота рубки, повторяемости рубок ухода; увеличение прироста лесных насаждений, в том числе использование удобрений; применение экологически щадящих видов рубок, технологий лесозаготовок и др.);

- замещение материалов и ископаемого топлива (использование древесины для производства более долговечных изделий и конструкций вместо энергоемких бетона, стали и других материалов и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо; совершенствование технологий деревообрабатывающих производств; использование древесины в качестве топлива, в том числе отходов лесозаготовок и деревообработки в качестве сырья для производства биотоплива и др.).

По существу названные стратегии хорошо соотносятся с устойчивым лесопользованием. Результаты проводимых научных исследований с использованием моделей изменения климата противоречивы. Поэтому, пока не будет более достоверных данных, необходимо придерживаться стратегий, направленных на увеличение как лесных запасов, так и лесозаготовок. Анализ результатов многочисленных работ показал, что изменение климата в основном будет отрицательно сказываться на накоплении углерода. При потеплении повышение продуктив-

ности древостоев будет уравниваться потерями от участвовавших повреждений леса болезнями, вредителями и другими негативными факторами. Мероприятия, снижающие выброс парниковых газов в долгосрочной перспективе, могут быть экономически неэффективны в краткосрочной, что очень сильно влияет на принятие неотложных мер по сокращению эмиссий [2–7].

Важным вопросом является регулирование ведения лесного хозяйства на особо охраняемых природных территориях и их рекреационное использование. Некоторые исследования свидетельствуют о том, что интенсивность угледепонирования выше в лесах, в которых ведется лесное хозяйство (на 48%), по сравнению с природоохранными лесами. В то же время в природоохранных лесах почвенные запасы углерода в 2 раза выше, чем в управляемых за счет потерь углерода при повреждении почвы во время проведения рубок в последних. Хотя потенциально управляемые леса могут накапливать большее количество углерода в почве [2, 5, 8–12].

Одним из факторов, способствующих стоку углерода, является лесоразведение и лесовосстановление. В 2010 г. около 7% мировых были искусственными. Естественное лесовосстановление, минимальная обработка и повреждение почвы при сплошных рубках леса или минимальное (отсутствующее) воздействие на нее (например, выборочные рубки в разновозрастных насаждениях) приводят к меньшим потерям углерода. Рубки в несколько приемов позволяют избежать значительных эмиссий углерода. Тем не менее следует учитывать, что постепенные и выборочные рубки сложнее, а заготовка порубочных остатков более затратна, поэтому потенциал по замене ископаемого топлива древесным снижается. Воздействие рубок ухода на углеродный баланс минимально. Как правило, они практически не приводят к повышению эмиссии углерода. Для максимизации запасов углерода имеет немаловажное значение увеличение их повторяемости. Результаты компьютерного моделирования показывают, что увеличение повторяемости на 20% повышает объем углерода в биомассе на 13, в почве – на 10% за 100 лет. Для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников вредителями рекомендуется увеличивать повторяемость рубок ухода и проводить их в зимнее время или летом в периоды без осадков, а также сохранять высокую полноту древостоев. Лесоводственные подходы, сочетающие увеличение повторяемости рубок ухода со снижением их интенсивности, обеспечивают увеличение запаса углерода в лесу и параллельно сокращение эмиссий. Результаты исследования также показывают, что стратегия, направленная на максимизацию «любой ценой»

выхода древесины с единицы площади, является не лучшей с климатической точки зрения. Важно учитывать, что стратегии, направленные на увеличение потенциала лесов к депонированию углерода, охватывают определенный, ограниченный отрезок времени. Сток углерода не может увеличиваться бесконечно. Кроме того, со временем возрастает риск эмиссии углерода вследствие воздействия природных катастрофических факторов [2, 5, 9–14].

Подбор пород играет большую роль в обеспечении возможностей леса адаптироваться к климатическим изменениям, а также важен с точки зрения углеродного баланса. Ельники и березняки накапливают в почве больше углерода, чем сосняки. Это может быть связано с более высоким содержанием органического азота в опаде ели и березы, чем сосны. Как показывают результаты ряда исследований, мягколиственные леса накапливают больше углерода, чем хвойные. При этом потенциал накопления углерода последних выше. Связанная с изменением климата активизация повреждаемости и гибели лесов вследствие пожаров, ветровалов и буреломов, поражений вредителями больше затронет чистые по составу, одновозрастные, простые по форме древостои прежде всего ели и других хвойных пород, что делает перспективы их выращивания в будущем неопределенными. Для борьбы со вспышками вредителей потребуются значительные усилия лесного хозяйства. Поэтому необходим переход на древесные породы, более адаптированные к засухам, формирование сложных и смешанных древостоев. Устойчивость ельников повышается с увеличением количества древесных видов в составе и общей доли примеси в составе (оптимально 50%) [9–11].

Активное использование удобрений и более интенсивное распространение интродуцентов способствует интенсификации лесовыращивания. В то же время пока не разработаны экспериментальные методики измерения потоков углерода, которые способны показать нетто-накопление углерода лесами при многолетнем использовании удобрений. Интенсификация лесовыращивания ведет к формированию однородных популяций и сокращению разнообразия лесов, что может повысить угрозу распространения насекомых-вредителей и болезней леса, а также снижения устойчивости к климатическим изменениям. В настоящее время научных данных, которые позволили бы количественно оценить эти риски, нет. Существует прямая зависимость между содержанием азота в почве и интенсивностью эмиссий оксида азота, соответственно при внесении азота в составе удобрений повышается риск увеличения эмиссии

оксида азота лесной почвой. На эмиссию парниковых газов могут оказать влияние и опосредованные эффекты внесения удобрений, например, в результате попадания удобрений в озера и ручьи, которые являются частью лесного ландшафта. По результатам ряда исследований, внесение азотных удобрений снижает способность лесных почв разлагать метан, тем не менее имеются и противоположные сведения. По всей видимости, небольшое повышение концентрации азота в лесных почвах существенно не повлияет на окисление метана, поэтому повышение эмиссии метана в атмосферу не будет значительным [14, 15].

Постоянно увеличивающаяся заготовка древесины для производства топлива может снизить продуктивность следующего поколения древостоя на бедных почвах. Предотвратить снижение продуктивности экосистем в будущем и, соответственно, эффективности угледепонирования можно путем сбора порубочных остатков и пней на достаточно плодородных участках или внесением минеральных удобрений. Воздействие заготовки пней на потоки углерода и окружающую среду мало изучено. Исследования влияния плантаций на угледепонирование находится на начальном уровне. Разрабатываются подходы к плантационному лесоводству, направленные как на максимизацию производства древесины, так и на накопление углерода. Потенциал смягчения выбросов парниковых газов биоэнергетических культур зависит от значительного количества пространственно изменяющейся информации: почвы, климата, предыдущего управления земельными ресурсами, будущего землепользования, урожайности сельскохозяйственных культур, запасов остающегося после вырубki плантаций углерода, в том числе почвенного углерода и др. [13, 16, 17].

Увеличение абсорбции парниковых газов лесами Беларуси в среднесрочной перспективе может быть достигнуто совершенствованием самой системы лесопользования и отдельных лесохозяйственных мероприятий, основные пути которого, по мнению авторов, приведены ниже.

Пересмотр и уточнение лесной политики и нормативных документов в стране каждые 3–5 лет на основе актуализированных данных по смягчению последствий изменения климата через накопление углерода и снижение его выбросов для адаптации действующих подходов к устойчивому ведению лесного хозяйства (устойчивому лесопользованию). Повышение эффективности системы управления, в том числе расширение возможностей принятия решений на уровне лесохозяйственных предприятий и их структурных подразделений, постепенное увеличение доли лесозаготовок сторонними орга-

низациями с перспективой проведения ими в будущем основных видов рубок леса.

При получении лесного образования целесообразно внести в учебные планы и программы изучаемых дисциплин соответствующих специальностей дополнения и изменения, раскрывающие вопросы смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним лесного хозяйства, в том числе разработать новые учебные дисциплины, сделать анализ целесообразности внедрения новых технологий в сравнении с их эффективностью для изменения климата (например, при использовании генетической модификации древесных видов, которые лучше адаптированы к будущим условиям, и др.).

Сохранение существующих лесов, в том числе минимизация изъятия покрытых лесом земель, создание новых (увеличение лесистости) на землях, на которых ведение лесного хозяйства более эффективно. Увеличение оборота рубки, оптимизация возрастной структуры, исключение из лесопользования насаждений IV и более низких классов бонитета с целью сохранения лесами угледепонирующей функции. Корректирование площадей особо охраняемых природных территорий до их оптимальной доли в лесном фонде страны с учетом сохранения биологического разнообразия и угледепонирующей функции, а также социально-экономической составляющей лесохозяйственной отрасли. Адаптация подходов по сохранению биоразнообразия с учетом прогнозов будущего изменения климата (новые виды, альтернативные генотипы растений).

Оптимизация формационной структуры и породного состава древостоев с учетом прогнозов возможного изменения климата. Подбор древесных пород, более адаптированных к засухам, формирование сложных и смешанных древостоев. Пересмотр регионов рекомендуемого происхождения семян, используемых для лесовосстановления, чтобы семена «соответствовали» будущему климату. Увеличение количества древесных видов в составе и общей доли примеси (до 50%) для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников.

Увеличение доли несплошных рубок главного пользования в первую очередь за счет равномерно-постепенных, группово-постепенных, длительно-постепенных и добровольно-выборочных, предусмотрев для этого меры дополнительного стимулирования и расширения перечня возможных объектов их проведения: снижение действующих норм выработки на проведение лесосечных работ для лучшего сохранения лесной среды и финансовая ответственность лесозаготовителей за нарушение лесоводственных требований; содействие предварительному лесовозобновлению, в том числе с

использованием специализированных машин и механизмов; уточнение и доработка организационно-технических элементов рубок и др.

Увеличение доли сплошнолесосечных рубок главного пользования с сохранением подроста (уменьшение норм количества подроста, подлежащего сохранению; стимулирование их проведения лесопользователями и усиление ответственности за некачественное выполнение рубок) или постепенный отказ от применения сплошных рубок без его сохранения. Дальнейшее использование и расширение экологически щадящих технологий рубок леса, конкретизация норм оставления деревьев для сохранения биологического разнообразия, формирования сложных по составу и структуре лесов нового поколения при проведении сплошных рубок главного пользования.

Увеличение повторяемости рубок ухода со снижением их интенсивности, отбор деревьев при рубках ухода в соответствии с классическими лесоводственными принципами. Поддержание высокой полноты древостоев и проведение рубок в зимнее время или летом в периоды без осадков для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников. Увеличение прироста лесных насаждений возможно за счет использования минеральных удобрений, но риски распространения определенных патогенных микроорганизмов, ускорения развития корневой губки, снижения биологического разнообразия, ускорения эмиссии оксида азота лесными почвами и опосредованных отрицательных эффектов не дают возможность рекомендовать данное мероприятие в широкой лесохозяйственной практике для повышения углерододепонирования. Альтернативным вариантом является биологическая мелиорация.

Использование древесины для производства топлива (сучья, ветви и пни, дровяная древесина и др.) позволяет сократить выбросы парниковых газов за счет замещения ископаемого топлива, при этом наибольший эффект достигается при замене угля. Сбор порубочных остатков следует осуществлять после опадения с них хвои или листьев с оставлением в лесу не менее 30–50% их массы в зависимости от почвенного плодородия. В связи с противоречивыми данными о влиянии заготовки пней на поглощение углерода использование их в качестве топлива нецелесообразно. Консервация углерода в более долговечных изделиях и конструкциях вместо энергоемких материалов (бетон, сталь и т. д.), при производстве которых выделяется больше парниковых газов, и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо. Стимулирование максимального производства и использования товаров из древесины с вы-

сокой добавленной стоимостью и постоянное расширение их ассортимента на основе научных исследований и инноваций (новые строительные материалы, биопродукты, такие как антибиотики, биоактивные бумаги, биопластики, клеи, биопестициды, растительные лекарственные средства, биохимические вещества, промышленные ферменты и др.), т. е. развитие биоэкономики.

Развитие плантационного лесоводства должно быть направлено не только на максимизацию производства древесины, но и накопление углерода. Перспективным для смягчения выбросов парниковых газов биоэнергетическими культурами может быть их создание на нелесных землях государственного лесного фонда и других категориях земель. Планирование,

строительство или модернизация производств по переработке древесины (в том числе второстепенных видов древесных пород) на основе будущей формационной структуры лесов.

**Заключение.** Мировое сообщество принимает ряд мер по предотвращению изменения климата, вызванного антропогенными факторами. Передовой международный опыт отдельных стран по смягчению последствий изменения климата базируется на нескольких стратегиях. Их подробный анализ позволил сформулировать ряд мероприятий по увеличению абсорбции парниковых газов лесами Беларуси в среднесрочной перспективе за счет совершенствования системы лесоуправления и отдельных лесохозяйственных мероприятий.

### Литература

1. Hoberg G., Peterson St-Laurent G., Schittecatte G., Dymond C. C. Forest carbon mitigation policy: a policy gap analysis for British Columbia // *Forest Policy and Economics*. 2016. No. 69. P. 73–82.
2. Королева Т. С., Шунькина Е. А. Обзор мирового опыта консервации углерода в существующих лесных резервуарах // *Труды СПбНИИЛХ*. 2014. № 4. С. 22–39.
3. Bellassen V., Luyssaert S. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times // *Nature*. 2014. No. 506 (7487). P. 153–155.
4. Keenan R. J. Forests and climate change: introduction to a special section // *Forest Ecology and Management*. 2016. No. 360. P. 353–356.
5. Олссон Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата // *Устойчивое лесопользование*. 2013. No. 2 (35). С. 36–45.
6. Keenan R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review // *Annals of Forest Science*. 2015. No. 72 (2). P. 145–167.
7. Thom D., Seidl R. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests // *Biological Reviews*. 2016. No. 91. P. 760–781.
8. Писаренко А. И., Страхов В. В., Филипчук А. Н. Проблемы собственности и лесоуправления в зарубежных странах // *Лесхоз. информ.* 2004. № 9. С. 52–64.
9. Noormets A., Epron D., Domec J. C., McNulty S. G., Fox T., Sun G., King J. S. Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis // *Forest Ecology and Management*. 2015. No. 355. P. 124–140.
10. Triebenbacher C. Das Borkenkäferjahr 2013 in Bayern: Buchdrucker und Kupferstecher haben die Latenz verlassen, Risiko für 2014 gestiegen // *Forstschutz Aktuell*. 2014. No. 59. P. 23–27.
11. Temperli C., Bugmann H., Elkin C. Adaptive management for competing forest goods and services under climate change // *Ecological Applications*. 2012. No. 22. P. 2065–2077.
12. Kasischke E. S., Christensen Jr. N. L., Stocks B. J. Fire, global warming and the carbon balance of boreal forest // *Ecological applications*. 1995. No. 5. P. 437–451.
13. Grelle A. Skogens kolbalans bestams av upptag och utsläpp // *Sverige i nytt klimat – vattnet utmaning*. Formas Fokuserar. 2010. No. 16. P. 241–252.
14. Pyörälä P., Kellomäki S., Peltola H. Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use // *Forest Ecology and Management*. 2012. No. 275. P. 87–97.
15. Larsson S., Lundmark T., Ståhl G. Möjligheter till intensivodling av skog: Slutrapport regering-suppdag. Jo 2008/1885. SLU, 2009. 138 p.
16. Gustavsson L., Haus S., Ortiz C. A., Sathre R., Le Truong N. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy // *Applied Energy*. 2015. No. 138. P. 36–50.
17. Hillier J., Whittaker C., Dailey G., Aylott M., Casella E., Richter G. M., Riche A., Murphy R., Taylor G., Smith P. Greenhouse gas emissions from four bioenergy crops in England and Wales: Integrating spatial estimates of yield and soil carbon balance in life cycle analyses // *Bioenergy*. 2009. No. 1 (4). P. 267–281.

### References

1. Hoberg G., Peterson St-Laurent G., Schittecatte G., Dymond C. C. Forest carbon mitigation policy: a policy gap analysis for British Columbia. *Forest Policy and Economics*. 2016, no. 69, pp. 73–82.

2. Koroleva T. S., Shun'kina E. A. Review of global carbon conservation practices in existing forest reservoirs. *Trudy SPbNIILKh* [Proceedings of SPbNIILKh], 2014, no. 4, pp. 22–39 (In Russian).
3. Bellassen V., Luyssaert S. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times. *Nature*. 2014, no. 506 (7487), pp. 153–155.
4. Keenan R. J. Forests and climate change: introduction to a special section. *Forest Ecology and Management*. 2016, no. 360, pp. 353–356.
5. Olsson R. Use or protect? Boreal forests and climate change. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2013, no. 2 (35), pp. 36–45 (In Russian).
6. Keenan R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science*. 2015, no. 72 (2), pp. 145–167.
7. Thom D., Seidl R. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*. 2016, no. 91, pp. 760–781.
8. Pisarenko A. I., Strakhov V. V., Filipchuk A. N. Problems of ownership and forest management in foreign countries. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2004, no. 9, pp. 52–64 (In Russian).
9. Noormets A., Epron D., Domec J. C., McNulty S. G., Fox T., Sun G., King J. S. Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. *Forest Ecology and Management*. 2015, no. 355, pp. 124–140.
10. Triebenbacher, C. Das Borkenkäferjahr 2013 in Bayern: Buchdrucker und Kupferstecher haben die Latenz verlassen, Risiko für 2014 gestiegen. *Forstschutz Aktuell*. 2014, no. 59, pp. 23–27.
11. Temperli C., Bugmann H., Elkin C. Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *Ecological Applications*. 2012, no. 22, pp. 2065–2077.
12. Kasischke E. S., Christensen Jr. N. L., Stocks B. J. Fire, global warming and the carbon balance of boreal forest. *Ecological applications*. 1995, no. 5, pp. 437–451.
13. Grelle A. Skogens kolbalans bestams av upptag och utslapp. Sverige i nytt klimat – vatvarm utmaning. *Formas Fokuserar*. 2010, no. 16, pp. 241–252.
14. Pyörälä P., Kellomäki S., Peltola H. Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use. *Forest Ecology and Management*. 2012, no. 275, pp. 87–97.
15. Larsson S., Lundmark T., Ståhl G. Möjligheter till intensivodling av skog: Slutrapport regeringssuppdag. *Jo 2008/1885*. SLU, 2009. 138 p.
16. Gustavsson L., Haus S., Ortiz C. A., Sathre R., Le Truong N. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy. *Applied Energy*. 2015, no. 138, pp. 36–50.
17. Hillier J., Whittaker C., Dailey G., Aylott M., Casella E., Richter G. M., Riche A., Murphy R., Taylor G., Smith P. Greenhouse gas emissions from four bioenergy crops in England and Wales: Integrating spatial estimates of yield and soil carbon balance in life cycle analyses. *Bioenergy*. 2009, no. 1 (4), pp. 267–281.

### Информация об авторах

**Шиман Дмитрий Валентинович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dms\_lh@mail.ru

**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

**Клыш Андрей Сергеевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: klysh@belstu.by

### Information about the authors

**Shiman Dmitriy 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: dms\_lh@mail.ru

**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

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

Поступила 29.10.2018

# ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

---

УДК 630\*232.324.3

**В. К. Гвоздев, А. П. Волкович**

Белорусский государственный технологический университет

## **СТРУКТУРА И ЗАПАСЫ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ В ЕЛОВЫХ КУЛЬТУРФИТОЦЕНОЗАХ РАЗНОЙ ГУСТОТЫ**

В статье приводится обоснование необходимости использования данных о запасах фитомассы древостоев в весовых единицах не только для решения практических задач народного хозяйства, но и для объективной оценки продуктивности лесов, выполнения ими различных средообразующих функций, а также для установления эффективности проводимых лесохозяйственных мероприятий. На современном этапе развития научных исследований наличие сведений о запасах надземной и подземной фитомассы насаждений позволяет исследовать такие глобальные проблемы, как формирование углеродного баланса определенных регионов. Проанализированы концептуальные подходы различных исследователей к установлению оптимальной густоты посадки при создании лесных культур основных лесообразующих пород. Установлено, что при проектировании густоты посадки необходимо использовать такие критерии, как индекс равномерности посадки и показатель условного параметра питания растений.

Приведены данные о запасах надземной фитомассы по фракциям в еловых культурфитоценозах с густотой посадки от 3,3 до 15,6 тыс. шт./га. На основании анализа полученных сведений установлены закономерности формирования чистых еловых насаждений. Выявлено, что на начальном этапе формирования (до 20 лет) запасы стволовой и надземной фитомассы значительно выше в вариантах средней густоты посадки (6700 шт./га) и густых культурах (15 600 шт./га). На более позднем этапе (возраст 35 лет), который характеризуется обострением внутривидовых конкурентных взаимоотношений и интенсивным отпадом, проявляется обратная тенденция и запасы надземной фитомассы уже в редких культурах (3300 шт./га) в 2,3 раза выше, чем в густых. Выявленные тенденции подтверждаются аналогичным характером изменения таксационных показателей древостоев.

**Ключевые слова:** культурфитоценозы разной густоты, запасы фитомассы, густота посадки, закономерности формирования насаждений.

**V. K. Gvozdev, A. P. Volkovich**

Belarusian State Technological University

## **STRUCTURE AND RESERVES OF ABOVE-GROUND PHYTOMASS IN SPRUCE CULTURE PHYTOCENOSES OF DIFFERENT DENSITY**

The article presents a substantiation of necessity of use data about stocks of phytomass of forest stands in weight units not only for solving practical problems of the national economy, but also for objectively evaluating forest productivity, performing various environmental functions, and also for establishing the effectiveness of forest management measures. At the present stage of development of scientific research, the availability of information on the reserves of aboveground and underground phytomass of plantations makes it possible to investigate such global problems as the formation of the carbon balance of certain regions. The conceptual approaches of various researchers to the establishment of optimal planting density in the creation of forest cultures of the main forest-forming species are analyzed. It has been established that when designing planting density, it is necessary to use such criteria as an index of uniformity of planting and an indicator of the conditional parameter of plant nutrition.

The data on the stocks of aboveground phytomass by fractions in spruce culture phytocenoses and plant communities with a planting density from 3.3 to 15.6 thousand pcs / ha are given. Based on the analysis of the information obtained, the regularities of the formation of pure spruce plantations are established. It was established that at the initial stage of formation (up to 20 years), the reserves of stem and aboveground phytomass are significantly higher in the variants of average planting density

(6700 pcs / ha) and thick cultures (15 600 pcs / ha). At a later stage (age 35 years), which is characterized by an aggravation of intraspecific competitive relationships and intensive outbreaks, the opposite trend and stocks of aboveground phytomass already appear in rare crops (3300 pcs / ha) 2.3 times higher than in dense ones. The revealed trends are confirmed by the similar nature of changes in the valuation indicators of forest stands.

**Key words:** culture phytocenoses of different density, phytomass reserves, planting density, patterns of planting formation.

**Введение.** Лесные биогеоценозы играют важную роль в процессе преобразования и аккумуляции солнечной энергии, поступающей на земную поверхность. В результате использования из атмосферы углекислого газа, воды и физиологически активной радиации в процессе фотосинтеза осуществляется образование органического вещества. В этом плане повышение продуктивности лесов должно идти по пути увеличения прироста органической массы древостоев, в том числе и стволовой части. Многие исследователи пришли к выводу, что важно знать запасы не только стволовой древесины, но и других частей деревьев – это позволит рационально использовать разнообразную продукцию деревьев в различных отраслях промышленности и сельском хозяйстве [1–3]. Проблема всестороннего изучения фитомассы насаждений различного состава и возраста, составление таблиц хода роста по составляющим компонентам была поставлена и активно разрабатывалась, начиная с 70-х г. прошлого столетия. Одним из направлений комплексных биоценологических исследований Лаборатории лесоведения АН СССР в 1970–1990 гг. явилось изучение продуктивности биологической массы в биогеоценозах. По мнению А. А. Молчанова, В. В. Смирнова и других исследователей, получение подробных сведений о запасах фитомассы различных древостоев в весовых единицах имеет не только практическое значение, но и позволяет объективно исследовать вопросы повышения продуктивности лесов, а также выполнения ими водоохранной, почвозащитной и климаторегулирующей роли [1, 2].

Многие исследователи отмечают необходимость использования данных о запасах фитомассы древостоев по составляющим компонентам в весовых единицах для оценки эффективности проведенных лесохозяйственных мероприятий, в том числе при лесовосстановлении, проведении рубок и др. [4, 5 и др.]. На современном этапе развития лесной науки наличие данных о запасах фитомассы различных древостоев позволяет исследовать такие глобальные проблемы, как расчет углеродного баланса лесов. Общеизвестно, что леса обладают значительным потенциалом, позволяющим оказать существенное воздействие на величину и направление потоков углерода в глобальном

углеродном круговороте. Увеличение фитомассы лесной экосистемы приводит к нетто-потоку углерода от атмосферы в лес и соответственно его стоку из атмосферы. Уменьшение фитомассы изменяет направление нетто-потока на противоположное и приводит к притоку атмосферного углерода [6]. Профессором кафедры лесоводства БГТУ Рожковым Л. Н. разработана методика расчета углеродного баланса лесов, для использования которой необходимы сведения о годичном приросте фитомассы древостоя (стволовая древесина в коре + сучья, ветви, хвоя (листья) + пни и корни). Указанная методика позволяет оценить составляющую роль депонирования углерода как экосистемой, так и отдельными насаждениями [6].

Целью наших исследований стало изучение структуры запасов надземной фитомассы еловых культурфитоценозов разной густоты посадки и на этой основе обоснование эффективности лесовосстановительных работ.

**Основная часть** Исследования проводились на стационарном опытном объекте, созданном в 1985 г. в Негорельском учебно-опытном лесхозе. Тип условий местопроизрастания В<sub>2</sub>, почва на участке дерново-подзолистая рыхлосупесчаная. Лесные культуры ели европейской густотой от 3,3 до 15,6 тыс. шт./га были созданы вручную под меч Колесова саженцами четырехлетнего возраста. Более полное описание объекта исследований произведено ранее [7]. Учет запасов надземной фитомассы древостоев ели различной густоты посадки проводился по методике, разработанной А. А. Молчановым и В. В. Смирновым. При этом в каждом варианте опыта отбирали 3 модельных дерева, срезали их и разделяли на следующие фракции: ствол, сухие ветви, живые неохвоенные ветви, живые охвоенные ветви – лапник. Из последних выбирали среднюю по показателям охвоения ветвь и выделяли хвою 1-го, 2-го, 3-го года и выше, а также побеги таких же возрастов, все части взвешивали в сыром и абсолютно сухом состояниях [8]. Влажность древесины определялась по ГОСТ 16483.7-71 [9].

Изучение эколого-фитоценологических особенностей формирования еловых насаждений с целью выявления их устойчивости и продуктивности в зависимости от густоты посадки

является актуальной задачей лесного хозяйства. Поэтому вопросы оптимальной густоты насаждений были и остаются в центре внимания ученых и лесоводов-практиков. К одним из первых опытных лесных культур разной густоты посадки следует отнести посадки и посевы сосны и ели, созданные под руководством профессора Кунце в Германии в 1861–1863 гг. В этом опыте были созданы культуры в семи вариантах густоты – от 2,5 до 14 тыс. шт./га с квадратным и рядовым размещением мест. В России в конце XIX – начале XX в. вопросами изучения особенностей формирования лесных культур разной густоты занимались такие известные ученые, как проф. Турский М. К. (1879 г.), проф. Нестеров Н. С. (1901 г.), проф. Тольский А. П. (1913–1914 гг.) и др. [10]. В послевоенный период были проведены масштабные исследования, позволяющие значительно расширить и углубить область знаний об особенностях формирования культурфитоценозов разной густоты. Так, Л. А. Кайрюкшис и А. И. Юодвалкис на основании результатов длительных экспериментальных исследований и практического опыта по оптимизации густоты выращивания еловых и елово-лиственных лесов разработали новый способ определения оптимальной густоты хвойных молодняков, применение которого позволяет на 20–40% увеличить текущий прирост в высоту и на 6–15 лет ускоряет их техническую спелость, не снижая общую продуктивность [11]. А. И. Писаренко и М. Д. Мерзленко (Союзгипролесхоз) обосновали необходимость использования при выборе оптимальной густоты посадки показателя «индекс равномерности», который характеризует отношение ширины междурядий к шагу посадки. Ими рассмотрены особенности формирования лесных культур сосны и ели и предложены оптимальные варианты густоты посадки с использованием индекса равномерности [12]. Оригинальный метод определения оптимальной густоты лесных культур предложен М. Д. Мерзленко, который основан на учете сочетания численности древесной популяции с величиной среднего диаметра древостоя. Был предложен показатель условного параметра питания, по которому можно судить о том, сколько квадратных метров площади, занимаемой древостоем, пошло на образование 1 м<sup>2</sup> площади сечения среднего дерева, что позволило количественно выразить синэкологические условия существования древесного сообщества. Было установлено, что оптимальная густота стояния соответствует минимально возможной величине площади, которая приходится на образование 1 м<sup>2</sup> площади сечения среднего дерева. Исходя из этого сделан расчет экологически

оптимальных величин площади в возрастном диапазоне модельных популяций ели в возрасте от 17 до 70 лет [13, 14].

Анализ особенностей формирования лесных культур ели по четырем вариантам опыта проведен для 20-летних и 35-летних насаждений (табл. 1). Следует отметить, что в 20-летнем возрасте во всех вариантах опыта еще не наступила фаза активного изреживания. Отпад деревьев незначительный, поэтому сохранность деревьев высокая и колеблется от 92 до 98%. Прослеживается четкая зависимость уменьшения среднего диаметра с увеличением густоты посадки. По сравнению с величиной среднего диаметра в культурах средней густоты посадки (5 тыс. шт./га) в редких культурах этот показатель выше на 20%, а в густых ниже на 34%. Средняя высота в различных вариантах густоты посадки имеет небольшие различия, за исключением густых культур. Полнота древостоев на всех участках возрастает с увеличением густоты посадки и составляет от 0,96 в редких до 1,57 в густых культурах. Наибольшие запасы стволовой древесины характерны для густых культур – 136–140 м<sup>3</sup>/га, что на 15% выше, чем в редких. Более высокие показатели полноты и запасов в густых культурах объясняются высокой сохранностью деревьев, в том числе тонкомерных (объем одного ствола в редких и густых культурах различаются в 3,7 раза).

Анализ показателей роста и продуктивности 35-летних насаждений показывает, что в формировании еловых насаждений наблюдаются новые тенденции, которые обусловлены обострением конкурентных внутривидовых отношений за свет, влагу и элементы питания. Сохранность лесных культур варьирует уже в широком диапазоне – от 75% в редких культурах до 20% в густых. На участках с густотой посадки 15,6 тыс. шт./га за 15-летний период произошел интенсивный отпад деревьев, количество которых уменьшилось более чем в 4 раза. Изменение среднего диаметра по вариантам опыта имеет ту же тенденцию – этот показатель в 1,4 раза выше в редких культурах по сравнению с густыми. В связи с большим отпадом деревьев в густых культурах более высокая полнота наблюдается в культурах средней густоты посадки. Запасы стволовой древесины за 15 лет значительно выросли (в 4 раза) в редких культурах и культурах средней густоты. Этот показатель в 2,1 раза выше в редких культурах по сравнению с густыми. Увеличилась амплитуда колебаний объема одного ствола – в редких и густых культурах этот показатель различается в 2,6 раза, что указывает на существенное различие в размерно-качественной характеристике древесного запаса по вариантам опыта.

Таблица 1

**Показатели роста и продуктивности лесных культур ели разной густоты посадки  
(в числителе приведены данные для насаждений 20-летнего возраста,  
в знаменателе – для 35-летних)**

| Вариант опыта | Схема посадки, м<br>густота, шт./га | Число деревьев, шт./га | Сохранность, % | Средние |      | Класс бонитета | Сумма площади поперечного сечения, м <sup>2</sup> /га | Полнота | Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га | Объем одного ствола, дм <sup>3</sup> |
|---------------|-------------------------------------|------------------------|----------------|---------|------|----------------|-------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
|               |                                     |                        |                | Д, см   | Н, м |                |                                                       |         |                                               |                                      |
| 1             | 3×1                                 | 3 240                  | 98             | 9,2     | 9,6  | I              | 21,6                                                  | 0,96    | 115                                           | 35,5                                 |
|               | 3 300                               | 2 480                  | 75             | 16,5    | 17,1 | I              | 53,1                                                  | 1,54    | 462                                           | 186,3                                |
| 2             | 2×1                                 | 4 720                  | 94             | 7,7     | 8,7  | I              | 21,8                                                  | 1,15    | 108                                           | 22,9                                 |
|               | 5 000                               | 3 280                  | 66             | 14,3    | 15,5 | I              | 52,7                                                  | 1,61    | 432                                           | 131,7                                |
| 3             | 1,5×1                               | 6 360                  | 95             | 7,3     | 9,2  | I              | 26,5                                                  | 1,22    | 140                                           | 22,0                                 |
|               | 6 700                               | 4 130                  | 62             | 12,0    | 13,5 | I              | 46,7                                                  | 1,60    | 334                                           | 80,9                                 |
| 4             | 0,8×0,8                             | 14 380                 | 92             | 5,1     | 7,4  | I              | 28,9                                                  | 1,57    | 136                                           | 9,5                                  |
|               | 15 600                              | 3 130                  | 20             | 11,4    | 12,8 | II             | 31,8                                                  | 1,13    | 221                                           | 70,6                                 |

Таблица 2

**Структура фитомассы ели в лесных культурах разной густоты посадки,  
т/га абсолютно сухого вещества (данные для насаждений 20-летнего и 35-летнего возрастов)**

| Части дерева            | Фитомасса (т/га) при густоте посадки (шт./га) |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         | 3 300                                         |        | 5 000  |        | 6 700  |        | 15 600 |        |
|                         | 35 лет                                        | 20 лет | 35 лет | 20 лет | 35 лет | 20 лет | 35 лет | 20 лет |
| Лапник                  | 38,1                                          | 21,8   | 25,1   | 16,6   | 19,6   | 20,1   | 13,8   | 15,8   |
| В том числе:            |                                               |        |        |        |        |        |        |        |
| хвоя 1-го года          | 8,51                                          | 3,8    | 5,04   | 2,3    | 3,27   | 1,5    | 2,80   | 1,3    |
| побеги 1-го года        | 2,36                                          | 1,0    | 1,24   | 0,6    | 0,70   | 0,4    | 0,73   | 0,3    |
| хвоя 2-го года          | 8,55                                          | 3,8    | 6,69   | 2,2    | 4,42   | 2,5    | 3,51   | 3,2    |
| побеги 2-го года        | 2,92                                          | 1,1    | 2,29   | 0,7    | 1,11   | 1,0    | 0,89   | 0,6    |
| хвоя 3-го и более       | 9,54                                          | 7,4    | 5,98   | 6,9    | 6,04   | 9,1    | 3,48   | 6,9    |
| побеги 3-го и более     | 6,23                                          | 4,5    | 3,9    | 3,9    | 4,08   | 5,6    | 2,42   | 3,6    |
| Неохвоенные живые ветви | 14,6                                          | 4,9    | 7,6    | 4,0    | 7,3    | 3,6    | 8,8    | 5,1    |
| Сухие ветви             | 14,5                                          | 4,3    | 16,6   | 4,2    | 10,3   | 6,0    | 9,3    | 6,2    |
| Ствол                   | 273,3                                         | 39,6   | 212,0  | 48,0   | 172,9  | 56,0   | 118,9  | 56,5   |
| <i>Итого</i>            | 340,5                                         | 70,5   | 261,3  | 72,7   | 210,1  | 85,7   | 150,8  | 83,6   |

Анализ структуры надземной древесной фитомассы в культурфитоценозах ели также позволил выявить определенные тенденции на разных возрастных этапах. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что в 20-летнем возрасте общие запасы надземной древесной фитомассы возрастают с увеличением густоты посадки и достигают наибольшего значения при густоте посадки 6700 шт./га (85,7 т/га), несколько ниже этот показатель в очень густых культурах (15 600 шт./га) – 83,6 т/га. В редких культурах (3 300 шт./га) запасы на 17% ниже, чем в культурах средней густоты (табл. 2) [15].

Распределение надземной древесной фитомассы 20-летних древостоев ели по фракциям позволяет сделать вывод о том, что долевое участие стволовой древесины составляет 56–68%, лапника – 23–31%, ветвей – 11–13% от

общих запасов. С увеличением густоты посадки наблюдается возрастание доли участия стволовой древесины и снижение охвоенных живых ветвей (с 32 до 17%). Долевое участие сухих и неохвоенных живых ветвей во всех вариантах густоты посадки одинаково – 4–7% от общих запасов фитомассы. Следует отметить тенденцию снижения массы хвои с увеличением густоты посадки. Особенно это характерно для однолетней хвои – если в редких культурах ее масса составляет 5,4%, средних по густоте – 3,2–1,8%, то в очень густых культурах – 1,6% от общих запасов фитомассы. Доля участия двухлетней хвои снижается с 5,4 до 3,8%, а трехлетней и более старой – с 10,4 до 8,3%.

Анализ накопления надземной фитомассы 35-летними древостоями показывает, что общие запасы значительно выше в редких культурах – 340,5 т/га. Этот показатель ниже на 33–38% в

культурах средней густоты посадки, а в густых культурах меньше в 2,3 раза. Проявилась новая тенденция накопления стволовой древесины – в редких культурах и культурах средней густоты долевое участие стволов составляет 80–82% от общих запасов надземной древесной фитомассы, в то время как в густых культурах этот показатель несколько ниже – 78,8%.

Следует отметить более высокое долевое участие охвоенных живых ветвей в редких культурах (11,2%), в то время как в остальных вариантах опыта лапник составляет 9,2–9,6% от общей массы. Эта закономерность также характерна для однолетней хвои – ее масса в культурах с густотой посадки 3300 шт./га составляет 2,5%, в то время как на других участках от 1,6 до 1,9% от всей массы. В накоплении хвои двухлетнего и трехлетнего возраста во всех вариантах опыта различий не наблюдается – ее содержание колеблется от 2,1 до 2,9% от общей массы. Значимых различий по содержанию сухих ветвей и неохвоенных живых ветвей в культурах разной густоты посадки также не выявлено. Следовательно, в 35-летних еловых насаждениях характер распределения надземной

древесной фитомассы существенно отличается от такового в 20-летних культурфитоценозах.

**Заключение.** На основании проведенных исследований установлено, что в процессе возрастной динамики в формировании еловых культурфитоценозов разной густоты посадки наблюдаются определенные закономерности. Характер изменений запасов надземной фитомассы и ее основных фракций (масса ствола и лапника) в 20 и 35-летних еловых насаждениях аналогичен изменениям таких важных таксационных показателей, как полнота, сохранность и запасы стволовой древесины. Установленные тенденции формирования лесных культур ели обусловлены активным проявлением конкурентных внутривидовых взаимодействий деревьев в насаждениях, которые носят трансбиотический характер. Полученные данные позволяют сделать вывод, что рост и развитие одноярусных древостоев ели европейской различной начальной густоты и неравномерного расположения деревьев происходит по всеобщим биологическим законам, что согласуется с исследованиями других авторов [16 и др.].

### Литература

1. Смирнов В. В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. М.: Наука. 1971. 360 с.
2. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука. 1971. 270 с.
3. Актанайтис В. В., Загребев В. В. Прирост леса. М.: Лесная пром-сть, 1981. 200 с.
4. Сироткин Ю. Д., Грук П. В. Фитомасса культур сосны разной исходной густоты // Лесоведение и лесное хоз-во. 1980. Вып. 15. С. 35–39.
5. Дружинин Ф. Н. Надземная фитомасса подпологовой ели после комплексных рубок // Лесной журнал. 2012. № 3. С. 19–24.
6. Рожков Л. Н. Углеродный баланс лесов: как рассчитать // Лесное и охотничье хоз-во. 2005. № 3. С. 26–29.
7. Гвоздев В. К., Волкович А. П. Динамика роста и продуктивности лесных культур ели европейской разной густоты посадки // Труды БГТУ. 2012. № 1: Лесное хоз-во. С. 161–164.
8. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 100 с.
9. Древесина. Методы определения влажности: ГОСТ 16483.7-71. В сб. стандартов: Древесина. Отбор образцов и методы испытаний. М.: Изд-во стандартов. 1986. С. 55–58.
10. Редько Г. И., Родин А. Р., Трещевский И. В. Лесные культуры. М.: Лесная пром-сть. 1980. 386 с.
11. Кайрюкшис Л. А., Юодвалькис А. И. Оптимальная густота еловых молодняков // Лесное хоз-во. 1975. № 2. С. 18–22.
12. Писаренко А. И., Мерзленко М. Д. Густота культур и индекс равномерности // Лесное хоз-во. 1978. № 1. С. 58–59.
13. Мерзленко М. Д. Теоретические аспекты зависимости оптимальной густоты стояния лесных культур от площади питания // Лесной журнал. 1986. № 1. С. 28–31.
14. Мерзленко М. Д. Целевая оптимизация густоты лесных культур // Лесное хоз-во. 1992. № 4–5. С. 19–21.
15. Волкович А. П., Гвоздев В. К. Влияние агротехнологических приемов на структуру надземной древесной фитомассы в лесных культурах ели европейской // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2002. Вып. X. С. 236–238.
16. Разин Г. С. О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев // Лесной журнал. 2012. № 1. С. 18–23.

## References

1. Smirnov V. V. *Organicheskaya massa v nekotorykh lesnykh fitotsenozakh Evropeyskoy chasti SSSR* [Organic mass in some forest phytocenoses of the European part of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 360 p.
2. Molchanov A. A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [Efficiency of the organic mass in forests of various zones]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 270 p.
3. Aktanaytis V. V., Zagreev V. V. *Prirost lesa* [Forest Growth]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1981. 200 p.
4. Sirotkin Yu. D., Gruk P. V. Phytomass of pine cultures of different initial density. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo* [Forest Science and Forestry], 1980, vol. 15, pp. 35–39 (In Russian).
5. Druzhinin F. N. Elevated phytomass of subspecific spruce after complex logging. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2012, no. 3, pp. 19–24 (In Russian).
6. Rozhkov L. N. Carbon balance of forests: how to calculate. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forest and hunting economy], 2005, no. 3, pp. 26–29 (In Russian).
7. Gvozdev V. K., Volkovich A. P. Dynamics of growth and productivity of forest cultures of spruce trees of European different density of planting. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012. no. 1: Forestry, pp. 161–164 (In Russian).
8. Molchanov A. A., Smirnov V. V. *Metodika izucheniya prirosta drevesnykh rasteniy* [Methods of studying the growth of woody plants]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 100 p.
9. GOST 16483.7-71. Wood. Methods for determining humidity. On Sat Standards: Wood. Sampling and test methods. Moscow, Publishing house of standards Publ., 1986, pp. 55–58 (In Russian).
10. Red'ko G. I., Rodin A. R., Treshchevsky I. V. *Lesnyye kul'tury* [Forest cultures]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1980. 386 p.
11. Kayrykshtis L. A., Uodval'kis A. I. Optimal density of spruce young forests. *Lesnoye khozyaystvo* [Forest Management], 1975, no. 2, pp. 18–22 (In Russian).
12. Pisarenko A. I., Merzlenko M. D. Density of Cultures and the Uniformity Index. *Lesnoye khozyaystvo* [Forest Management], 1978, no. 1, pp. 58–59 (In Russian).
13. Merzlenko M. D. Theoretical aspects of the dependence of the optimal density of standing of forest crops on the area of food. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1986, no. 1, pp. 28–31 (In Russian).
14. Merzlenko M. D. Target optimization of density of forest crops. *Lesnoye khozyaystvo* [Forest Management], 1992, no. 4–5, pp. 19–21 (In Russian).
15. Volkovich A. P., Gvozdev V. K. Influence of agrotechnological methods on the structure of above-ground woody phytomass in forest spruce spruce forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2002, issue X, pp. 236–238 (In Russian).
16. Razin G. S. On the laws and laws of growth and development, life and dying off of tree stands. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2012. no. 1, pp. 18–23 (In Russian).

## Информация об авторах

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

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

## Information about the authors

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

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

Поступила 22.10.2018

УДК 582.475:581.526.42

**А. А. Овсей**

Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь

**ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ИНТРОДУКЦИИ КЕДРОВЫХ СОСЕН  
НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Определены виды кедровых сосен (секция *Cembrae*), по которым на территории Республики Беларусь проводились работы по интродукции, и имеется положительный результат, представлено место данных видов в общепринятой систематике растений. Собрана информация по произрастающим на территории Республики Беларусь отдельным деревьям кедровых сосен и насаждениям с их участием на основании результатов проведенного анализа таксационного описания лесного фонда, постоянной лесосеменной базы и обобщенных литературных данных.

В соответствии с методикой исследований выполнены инструментальные замеры биометрических показателей растений кедровых сосен, произрастающих на лесосеменной плантации первого порядка 1989 г. закладки в Глубокском опытном лесхозе, проведена их статистическая обработка. Приведены результаты измерений биометрических показателей лесосеменного сырья сосны кедровой сибирской и сосны кедровой корейской, собранного на территории Беларуси, лабораторного анализа семян, полученных из него.

Определены для дальнейшего более глубокого изучения как наиболее перспективные с хозяйственной точки использования, имеющие положительные результаты первичной интродукции в климатических и почвенно-грунтовых условиях Беларуси, следующие виды: сосна кедровая сибирская, сосна кедровая европейская, сосна кедровая корейская, кедровый стланик.

**Ключевые слова:** интродукция, кедровые сосны, лесосеменное сырье, семена, лесосеменная плантация.

**A. A. Ovsey**

Ministry of Forestry of the Republic of Belarus

**CURRENT SITUATION OF INTRODUCTION OF CEDAR PINE  
IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Investigational species of cedar pine (section *Cembrae*) with positive results of introduction have been assessed. The place of this species has been defined in taxonomy of plants.

According to the test method instrumental measurements of biometrical indicators have been performed on Siberian cedar pines in forest seed plantation of first order funded in 1989 of the Glubokoe forestry enterprise. Data have been statistically processed. Measurement findings of biometrical indicators of forest seed plantation of Siberian cedar pine and Korean pine collected in the territory of the Republic of Belarus and laboratory analysis of their seeds are provided.

Commercially, the following species that had been previously successfully introduced in climate and soil settings of Belarus, have been identified for further investigation: Siberian cedar pine, European pine, Korean pine, Siberian Dwarf pine.

**Key words:** introduction, cedar pine, forest seed materials, seeds, forest seed plantation.

**Введение.** Видовое разнообразие древесно-кустарниковых пород, естественно произрастающих на территории Республики Беларусь, является незначительным и представлено 28 видами. С развитием торгово-экономических связей, географических открытий видовое и формовое разнообразие начало пополняться новыми растениями, в первую очередь хозяйственно-ценными с позиции их технического, пищевого использования, а также для целей озеленения. По литературным данным, закладка старейших пейзажных парков с участием иноземных видов растений на территории современной Республики Беларусь датируется

XVI в., первые системные работы на научной основе по интродукции растений начали проводиться в XVIII в. в связи с интенсивным развитием ландшафтного паркостроения [1].

В настоящее время ряд древесных интродуцированных видов широко используется не только в целях озеленения, но и в лесном хозяйстве с целью получения высококачественного древесного сырья. К таким породам, продуктивность которых в определенных почвенно-грунтовых условиях превосходит местные лесообразующие виды, относятся лиственница европейская, псевдотсуга Мензиса, сосна Веймутова и некоторые другие. Помимо получения

древесины, многие интродуцированные породы обладают сугубо индивидуальными свойствами, являются источниками сырья для получения ряда химических веществ, ягодными и орехоплодными культурами. К таким растениям относятся и виды пятихвойных кедровых сосен, хозяйственное использование которых в лесном хозяйстве имеет широкую сферу использования: получение древесины, орехов, живицы, создание ландшафтных насаждений в рекреационных лесах [2].

**Основная часть.** Кедровые сосны (секция *Cembra*) относятся к подроду мягкие сосны (*Strobus*) рода Сосна (*Pinus*) семейства Сосновые (*Pinaceae*). На территории Республики Беларусь естественно произрастающих видов, представляющих данную секцию, не имеется, положительные результаты получены при интродукции следующих видов: сосна кедровая европейская (*Pinus cembra* L.), сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* L.), сосна кедровая корейская (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.), сосна кедровая стланиковая (*Pinus pumila* Reg.), сосна Арманда (*Pinus armandii* Franch.), сосна кедровая калифорнийская (*Pinus flexillis* James.), сосна белоствольная (*Pinus albicaulis* Engelm.). Естественно произрастающая в Гималаях и горах Тибета сосна Арманда в условиях Беларуси поражается склеродиевым раком, североамериканские виды: сосна кедровая калифорнийская и белоствольная чувствительны к низким температурам в зимний период и страдают от пузырчатой ржавчины. Данные виды в условиях интродукции изучены недостаточно в связи с единичными опытными объектами и требуют дополнительных исследований [3].

Наибольшее распространение на территории Республики Беларусь получили сосна кедровая сибирская и сосна кедровая европейская. Так как два данных вида являются викарными, морфологически трудно различимыми, то до настоящего времени в научных кругах ведутся дискуссии об их самостоятельном выделении. Многие авторы рассматривают сосну кедровую сибирскую как разновидность кедров европейского – *Pinus cembra* var. *Sibirica* [1]. Представляют собой деревья высотой до 35 м, с густой широкояйцевидной кроной. Молодые побеги имеют густое красно-бурое опушение. Хвоя трехгранная, тонкая, длиной 5–10 см, зеленая, с голубоватыми продольными полосками. Шишки у сосны кедровой европейской овально-яйцевидные 5–8 см длиной, у сибирской – яйцевидные 5–13 см длиной, длина семян до 14 мм. Масса 1000 шт. семян 100–400 г [4].

Местопроизрастание отдельных деревьев и насаждений, составленное на основании анализа таксационного описания лесного фонда, инфор-

мации лесохозяйственных учреждений и литературных данных, представлено в табл. 1. Как видно из представленной таблицы, насаждения с участием сосны кедровой сибирской и европейской произрастают на площади 42,6 га, отдельные деревья представлены в количестве 309 растений [5–9]. Указанный список не является исчерпывающим, так как значительное количество отдельных деревьев находится не в лесном фонде, а в населенных пунктах, что усложняет сбор информации. Месторасположение наиболее старых деревьев возрастом свыше 100 лет приурочено, как правило, к ландшафтным паркам, закладываемым вблизи дворянских имений. Данные объекты являются ценным маточным материалом для создания объектов постоянной лесосеменной базы, так как прошли первичный этап акклиматизации, а их генотипы – устойчивыми к новым почвенно-климатическим условиям произрастания. На хорошо освещенных отдельно растущих деревьях процесс образования шишек начинается в возрасте 18–25 лет, семена жизнеспособные. На деревьях, растущих в насаждениях под пологом основного яруса, процесс образования шишек незначителен или не наблюдается.

Помимо имеющих отдельно растущих деревьев и насаждений, с целью заготовки лесных семян на территории трех лесохозяйственных учреждений были заложены лесосеменные плантации первого порядка.

Лесосеменная плантация сосны кедровой сибирской в Глубокском опытном лесхозе на площади 2,8 га была заложена в 1989 г. Участок под плантацию представлял собой вырубку, на которой была произведена сплошная корчевка пней. Почва на участке дерново-подзолистая, развивающаяся на супеси, подстилаемая суглинком, тип условий местопроизрастания В<sub>2</sub>, рельеф волнистый. Посадка производилась непривитыми сеянцами, выращенными на лесном питомнике из семян сосны кедровой сибирской, привезенных из центральной Сибири, с расстоянием в ряду 5 м, расстояние между рядами – 8 м, исходная густота составляла 235 растений на 1 га. С момента создания на плантации регулярно проводились уходы в междурядьях путем выкашивания нежелательной травянистой и древесно-кустарниковой растительности, культивации почвы. В 2013 г. проведено формирование крон у культивируемых деревьев. Обследование лесосеменной плантации осуществлялось в августе 2017 г. Наличие деревьев на плантации: 128 сосны кедровой сибирской, 3 сосны кедровой корейской. Сохранность растений от первоначальной схемы посадки составляет 19,8%.

Таблица 1

**Местопрорастание единичных деревьев и насаждений сосны кедровой сибирской  
и европейской на территории Республики Беларусь**

| Административный район | Лесничество, населенный пункт либо парк | Площадь насаждения, га/количество деревьев, шт. | Возраст, лет |
|------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------|
| Барановичский          | Городищенское                           | 1,5 га/—                                        | 45–50        |
|                        | Молчадское                              | 0,3 га/—                                        | 40–50        |
| Белыничский            | Техтинское                              | —/3 шт.                                         | 15           |
|                        | Кировское                               | 2,4 га/—                                        | 5            |
| Березинский            | Березинское                             | —/5 шт.                                         | 20           |
| Бешенковичский         | г. п. Бешенковичи                       | —/4 шт.                                         | 30–45        |
|                        | д. Двор Низголова                       | —/2 шт.                                         | 110          |
|                        | Парк «Добрыгоры»                        | —/10 шт.                                        | 110          |
| Буда-Кошелевский       | Чеботовичское                           | —/6 шт.                                         | 10           |
| Быховский              | Парк «Грудиновка»                       | —/3 шт.                                         | 110          |
| Верхнедвинский         | Верхнедвинское                          | 1,4 га/—                                        | 20           |
| Ветковский             | п. Побужжа                              | —/10 шт.                                        | 37           |
| Вилейский              | Куренецкое                              | 1,0 га/—                                        | 30           |
| Ганцевичский           | Круговичское                            | 1,2 га/—                                        | 30           |
|                        | Раздяловичское                          | —/1 шт.                                         | 40           |
| Глубокский             | Глубокское                              | 16,3 га/—                                       | 35–45        |
|                        | Голубичское                             | 1,3 га/—                                        | 30–35        |
| Горецкий               | Первомайское                            | 0,2 га/м                                        | 5            |
| Зельвинский            | Зельвинское                             | —/2 шт.                                         | 20           |
| Калинковичский         | Озаричское                              | —/1 шт.                                         | 15           |
| Кличевский             | Кличевское                              | —/7 шт.                                         | 20           |
| Лепельский             | д. Фатынь                               | —/1 шт.                                         | 120          |
| Лунинецкий             | Чучевичское                             | —/5 шт.                                         | 30           |
|                        | д. Большие Чучевичи                     | —/5 шт.                                         | 25–30        |
|                        | г. Лунинец                              | —/2 шт.                                         | 15–25        |
| Ляховичский            | д. Кривошин                             | —/8 шт.                                         | 45           |
|                        | д. Флерьяново                           | —/1 шт.                                         | 110          |
| г. Минск               | г. Минск                                | —/28 шт.                                        | 30–120       |
| Могилевский            | Чемерянское                             | 0,8 га/—                                        | 5            |
|                        | Заходское                               | 3,3 га/—                                        | 5            |
| Мозырский              | Слободское                              | —/36 шт.                                        | 30           |
| Молодеченский          | Молодеченское                           | 1,6 га/—                                        | 10           |
| Островецкий            | Гервятское                              | 1,5 га/—                                        | 10           |
| Петриковский           | Петриковское                            | —/4 шт.                                         | 25           |
| Пинский                | Калининское                             | —/1 шт.                                         | 25           |
|                        | Поречское                               | —/1 шт.                                         | 140          |
| Пуховичский            | Руденское                               | —/33 шт.                                        | 30–35        |
| Светлогорский          | Чирковичское                            | —/2 шт.                                         | 10           |
| Смолевичский           | Драчковское                             | —/2 шт.                                         | 15           |
| Сморгонский            | Сморгонское                             | —/40 шт.                                        | 15–20        |
|                        | Вишневское                              | 0,8 га/—                                        | 30           |
| Столинский             | Ласицкое                                | 2,1 га/—                                        | 60           |
|                        | Парк «Маньковичи»                       | —/2 шт.                                         | 100          |
| Чашникский             | Чашникское                              | 6,9 га/—                                        | 35           |
| Чериковский            | Чериковское                             | —/50 шт.                                        | 30           |
|                        | г. Чериков                              | —/6 шт.                                         | 30           |
| Щучинский              | г. Щучин                                | —/28 шт.                                        | 15–20        |
| <i>Итого</i>           | —                                       | 42,6 га/309 шт.                                 | —            |

Средние значения, полученные в результате инструментальных измерений: высота деревьев – 4,46 м; диаметр ствола у корневой шейки – 19,4 см; диаметр ствола на высоте 1,3 м – 13,1 см; протяженность живой кроны – 3,88 м; диаметр проекции кроны – 3,02 м. Среднее количество вершин у культивируемых деревьев составило 3,16 шт., наличие шишек первого года наблюдалось на 3,8% деревьев, наличие шишек второго года – на 20,6%. Шишки второго года были собраны с деревьев, в лабораторных условиях произведено определение их основных параметров. Результаты анализа лесосеменного сырья сосны кедровой сибирской, собранного с лесосеменной плантации Глубокского опытного лесхоза, а также с единичных деревьев, произрастающих на территории усадьбы административного здания Щучинского лесхоза, представлены в табл. 2. Как видно из представленной таблицы, параметры шишек с лесосеменной плантации и семян, извлеченных из них, ниже средних литературных данных. Собранное на территории Щучинского лесхоза лесосеменное сырье по параметрам шишек и массе 1000 семян соответствует средним литературным значениям.

Лесосеменная плантация сосны кедровой сибирской в Верхнедвинском лесхозе была заложена на территории дендропарка в 1997 г. Участок под плантацию представлял собой вырубку со сплошной корчевкой пней из-под елового насаждения кисличного типа леса, тип условий местопроизрастания Д<sub>2</sub>. Посадка ручная под меч Колесова в дно плужных борозд. Расстояние между растениями в ряду 4,0 м; между рядами – 4,5 м; исходная густота 556 растений на 1 га. Информация о происхождении посевного материала не сохранилась. За плантацией регулярно проводятся агротехнические уходы путем выкашивания нежелательной растительности в междурядьях, выполняется формирование крон культивируемых деревьев, обработки инсектицидными препаратами от энтомофитовредителей. На территории прилегающего дендропарка имеются очаги корневой губки, существует угроза заражения корневых систем деревьев на лесосеменной плантации. По данным инвентаризации на площади плантации произрастает

484 деревьев сосны кедровой сибирской, сохранность составляет 60,5%. На единичных деревьях наблюдается образование шишек.

Лесосеменная плантация сосны кедровой европейской в Гродненском лесхозе создана на территории Индурского лесничества в 2007 г. посадочным материалом, выращенным в Республиканском лесном селекционно-семеноводческом центре с использованием посевного материала польского происхождения. Закладка плантации осуществлялась на вырубке со сплошной корчевкой пней орлякового типа леса, тип условий местопроизрастания В<sub>2</sub>. Размещение деревьев в ряду через 5 м, междурядья 8 м. Исходная густота 250 растений на 1 га. На плантации регулярно проводились уходы путем культивации почвы в междурядьях. В осенне-зимний период 2014–2015 г. растения на плантации были в значительной степени повреждены дикими копытными животными. По данным инвентаризации, в настоящее время произрастает 140 культивируемых деревьев. Семенования не наблюдается.

Дальневосточный вид, сосна кедровая корейская, отличается от сибирской и европейской конусовидной кроной, сизо-зеленой хвоей 7–20 см длиной, крупными (10–15 см в длину и 5–9 см в ширину) шишками, в 2 раза крупнее семенами, длиной 15–20 мм. Масса 1000 шт. семян 500 г [10]. По полученной в результате работы информации, сосна кедровая корейская представлена на территории Республики Беларусь отдельно произрастающими деревьями в количестве 124 растений возрастом 30–80 лет. Наиболее старые деревья 1937 г. посадки произрастают на территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси [3]. Значительное количество растений данной породы растет на территории лесных питомников Вилейского опытного (71 дерево) и Волковысского (12 деревьев) лесхозов. Единичные деревья – на территории дендропарков Глубокского опытного и Верхнедвинского лесхозов, Старобинского лесхоза, в населенных пунктах Быховского, Дрибинского, Шумилинского, Минского районов. Данная порода в условиях Беларуси начинает образовывать шишки в условиях хорошей освещенности в возрасте 20 лет.

Таблица 2

Средние значения параметров лесосеменного сырья сосны кедровой сибирской

| Размеры шишки, см         |             | Вес шишки, г |             |             | Количества<br>семян, шт. | Выход, %     | Масса 1000<br>семян, г |
|---------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------|------------------------|
| длина                     | ширина      | всего        | семена      | отходы      |                          |              |                        |
| Глубокский опытный лесхоз |             |              |             |             |                          |              |                        |
| 3,82 ± 0,11               | 2,97 ± 0,07 | 6,82 ± 0,38  | 0,91 ± 0,13 | 5,91 ± 0,31 | 10,11 ± 1,12             | 11,87 ± 1,36 | 126,56 ± 6,17          |
| Щучинский лесхоз          |             |              |             |             |                          |              |                        |
| 4,83 ± 0,1                | 3,83 ± 0,07 | 13,52 ± 0,37 | 2,7 ± 0,15  | 10,82 ± 0,3 | 13,67 ± 1,16             | 19,77 ± 1,11 | 217 ± 8,48             |

Таблица 3

**Средние значения параметров лесосеменного сырья сосны кедровой корейской  
(место сбора Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси)**

| Размеры шишки, см |            | Вес шишки, г |             |             | Количества<br>семян, шт. | Выход, %    | Масса 1000<br>семян, г |
|-------------------|------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------|------------------------|
| длина             | ширина     | всего        | семена      | отходы      |                          |             |                        |
| Дерево № 1        |            |              |             |             |                          |             |                        |
| 12,0 ± 0,2        | 5,9 ± 0,16 | 118,7 ± 3,28 | 70,8 ± 2,62 | 47,9 ± 1,22 | 124,3 ± 5,26             | 59,2 ± 0,92 | 579,9 ± 14,7           |
| Дерево № 2        |            |              |             |             |                          |             |                        |
| 14,5 ± 0,28       | 6,0 ± 0,09 | 151,1 ± 3,75 | 77,3 ± 2,13 | 73,8 ± 2,03 | 134,4 ± 3,45             | 51,2 ± 0,65 | 575,4 ± 6,59           |

Семеношение регулярное, обильные урожаи наблюдаются раз в 3–4 года. Сосна кедровая корейская в меньшей степени, в отличие от сибирской и европейской, поражается фито- и энтомовредителями [3].

В осенне-зимний период 2016–2017 г. с деревьев сосны кедровой корейской, произрастающих на территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси, возраст которых составлял 80 лет, была произведена заготовка лесосеменного сырья. С двух деревьев случайной выборкой было отобрано по 30 шишек, которые в течение трех месяцев просушивались при комнатной температуре в хорошо проветриваемом помещении. В лабораторных условиях определялись параметры шишек и извлеченных из них семян. Результаты измерений представлены в табл. 3. Сравнивая полученные результаты средних значений параметров лесосеменного сырья сосны кедровой сибирской и корейской, следует отметить превышение по всем количественным показателям шишек сосны кедровой сибирской над корейской. Так, например, выход семян из шишки, являющийся относительным показателем, у сосны кедровой корейской получился в 2,6–5,0 раз выше, чем у сибирской. Масса 1000 семян сосны кедровой корейской по результатам измерений оказалась на 15% выше усредненных литературных данных. В результате проведенного анализа посевных качеств семян сосны кедровой корейской методом окрашивания 80% семян оказались жизнеспособными, 11% окрасились или имели стекловидный вид, 9% были пустыми. По действующим нормативам партия относится ко второму классу качества.

Кедровый стланик, являясь по жизненной форме преимущественно стелющимся, сильно-ветвистым кустом, иногда невысоким до 3–5 м

высотой деревом, имеет на территории Республики Беларусь незначительное распространение. Наиболее старые экземпляры произрастают на территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси, плодоносящие растения более молодого возраста – на территории дендропарков Глубокского опытного и Верхнедвинского лесхозов. Представляет ценность как декоративная культура. В условиях Беларуси регулярно плодоносит [3].

**Заключение.** Из семи видов кедровых сосен секции *Cembra*, интродукция которых в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь показала положительный результат, сосна Арманды, сосна кедровая калифорнийская и сосна белоствольная требуют дополнительных исследований в связи с незначительным количеством опытных объектов и неоднозначностью первичных результатов. Наиболее перспективными в отношении хозяйственного использования являются сосна кедровая сибирская, европейская, корейская и кедровый стланик. Данные древесные виды в условиях Беларуси характеризуются устойчивыми показателями роста и развития, отличаются регулярным семеношением с жизнеспособным семенным материалом. Перспективным направлением является их использование в ландшафтном дизайне, создании лесных культур в рекреационных лесах, ввод в лесные насаждения в качестве биотехнического мероприятия. Кроме этого, кедровые сосны являются ценными орехоплодными культурами. На территории Беларуси имеется достаточное количество уже вступивших в стадию семеношения как единичных деревьев, так и насаждений кедровых сосен, на основании которых возможно создание объектов лесосеменной базы с целью получения адаптированного к климатическим условиям Беларуси посадочного материала.

### Литература

1. Федорук А. Т. Древесные растения садов и парков Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1980. 208 с.
2. Шкутко Н. В. Рекомендации по организации семенной базы экзотов в лесхозах БССР. Минск: БелНИИЛТИ, 1969. 27 с.
3. Торчык У. І. Кедровая хвоя ў Беларусі. Мінск: Навука і тэхніка, 1993. С. 5–25.

4. Шкутко Н. В. Хвойные экзоты Белоруссии и их хозяйственное значение. Минск: Наука и техника, 1970. С. 170–175.
5. Ломако В. А. Дендрологический сад Глубокского лесхоза. Минск: Ураджай, 1990. 111 с.
6. Федорук А. Т. Интродуцированные деревья и кустарники западной части Белоруссии. Минск: Изд-во БГУ им. В. И. Ленина, 1972. С. 20.
7. Федорук А. Т. Садово-парковое искусство Белоруссии. Минск: Ураджай, 1989. 247 с.
8. Чаховский А. А., Шкутко Н. В. Декоративная дендрология Белоруссии. Минск: Ураджай, 1979. 216 с.
9. Интродуцированные деревья и кустарники в Белорусской ССР: в 3 вып. / под ред. Н. Д. Нестеровича. Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1959–1961. Вып. 3. 1961. С. 69–74.
10. Каппер О. Г. Хвойные породы. М.: Гослесбумиздат, 1954. С. 232–250.

### References

1. Fedoruk A. T. *Drevesnyye rasteniya sadov i parkov Belorussii* [Tree species of gardens and parks of Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980, 208 p.
2. Shkutko N. V. *Rekomendatsii po organizatsii semennoy bazy ekzotov v leskhozakh BSSR* [Recommendations on the organization of the seed base of exotics in the forestry enterprises of the Byelorussian SSR]. Minsk, BelNIINTI Publ., 1969. 27 p.
3. Torchik U. I. *Kedravya khvoya u Belarusi* [Pine needles of Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1993, pp. 5–25.
4. Shutko N. V. *Khvoynyye ekzoty Belorussii i ikh khozyaystvennoye znachenie* [Exotic conifers of Belarus and their commercial value]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1970, pp. 170–175.
5. Lomako V. A. *Dendrologicheskiy sad Glubokskogo leskhoza* [Dendrological garden of Glubokoye forestry]. Minsk, Uradzhay Publ., 1990. 111 p.
6. Fedoruk A. T. *Introdutsirovannyye derev'ya i kustarniki zapadnoy chasti Belorussii* [Introduced trees and shrubs of the Western part of Belarus]. Minsk, BSU Publ., 1972. P. 20.
7. Fedoruk A. T. *Sadovo-parkovoye iskusstvo Belorussii* [Landscape art of Belarus]. Minsk, Uradzhay Publ., 1989. 247 p.
8. Chahovskij A. A., Shkutko N. V. *Dekorativnaya dendrologiya Belorussii* [Decorative dendrology Belarus]. Minsk, Uradzhay Publ., 1979. 216 p.
9. Nesterovich N. D. *Introdutsirovannyye derev'ya i kustarniki v Belorusskoy SSR* [Introduced trees and shrubs in the Belarusian SSR]. Minsk, Izd-vo Akademii nauk BSSR Publ., 1959–1961, vol. 3. 1961, pp. 69–74 (In Russian).
10. Kapper O. G. *Khvoynyye porody* [Conifers]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1954, pp. 232–250.

### Информация об авторе

**Овсей Александр Анатольевич** – консультант управления лесного хозяйства. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (220048, г. Минск, ул. Мясникова, 39). E-mail: al.ovsei@mail.ru

### Information about the authors

**Ovsey Alexander Anatol'yevich** – consultant, the Department of Forestry. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39, Myasnikova str., 220048, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: al.ovsei@mail.ru

Поступила 29.10.2018

УДК 630\*232.322.4

**А. В. Романчук, А. В. Юреня**

Белорусский государственный технологический университет

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ  
ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ «БАЗАКОТ 6М» В ПОСЕВНОМ  
ОТДЕЛЕНИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ**

Выбор лесных питомников осуществлялся в зависимости от почвообразующих пород, на которых сформировались почвы посевных отделений. На территории Беларуси основными почвообразующими породами, на которых формируются большинство почв лесных питомников, представлены моренными, водно-ледниковыми и лессовидными породами. Поэтому проведение исследований включало в себя почвы, сформированные на этих почвообразующих породах. По происхождению почвообразующих пород и морфологическим признакам пахотные горизонты представлены супесью связной моренной, супесью рыхлой водно-ледниковой, супесью связной лессовидной, суглинком легким моренным и суглинком легким лессовидным. Для выращивания сеянцев сосны обыкновенной в посевном отделении почва характеризуется хорошей структурой, порозностью и благоприятными водно-физическими свойствами, которые в наибольшей степени достигаются в данных условиях. Ниже по профилю почва характеризуется более легким гранулометрическим составом, который обеспечивает отведение избытка влаги при выращивании сеянцев. Определены гранулометрический состав и происхождение почвообразующих пород пахотных горизонтов всех обследуемых посевных отделений. Приведены результаты определения содержания в пахотных горизонтах важнейших элементов питания для роста и развития сеянцев сосны обыкновенной, установлена их степень обеспеченности. Также проведен сравнительный анализ содержания элементов питания в посевных строках и межленточном пространстве при выращивании сеянцев сосны обыкновенной в открытом грунте до внесения и после внесения в посевные строки комплексного минерального удобрения «Базакот 6М».

**Ключевые слова:** питомник лесной, сеянец, сосна обыкновенная, удобрение пролонгированное, отделение посевное, состав гранулометрический, посев, горизонт пахотный.

**A. V. Romanchuk, A. V. Yurenja**

Belarusian State Technological University

**APPLICATION OF COMPLEX MINERAL FERTILIZER  
PROLONGED ACTION “BAZAKOT 6M” IN CROPPING SEPARATION  
OF THE PINE OF AN ORDINARY FOREST KENNELS**

The choice of forest nurseries was carried out depending on the soil-forming rocks on which the soils of the sowing branches were formed. On the territory of Belarus, the main soil-forming rocks on which most of the soil of forest nurseries are formed are moraine, water-glacial and loesslike rocks. Therefore, the research included soil formed on these soil-forming rocks. According to the origin of the soil-forming rocks and morphological features, the arable horizons are represented by sandy loamy coarse morainic, sandy loam, water-glacial loamy, sandy loam bound loess-like, loam light moraine and loam light loess-like. For growing pine seedlings in the sowing compartment, the soil is characterized by a good structure, porosity and favorable water-physical properties, which are most attainable under the given conditions. Below, along the profile, the soil is characterized by a lighter granulometric composition, which ensures the removal of excess moisture when growing seedlings. The granulometric composition and origin of the soil-forming rocks of the arable horizons of all the surveyed sowing compartments are determined. The results of determining the content of the most important nutrients in the arable horizons for the growth and development of Scots pine seedlings are established, their degree of availability is established. Also, a comparative analysis of the content of nutrients in the sowing lines and the intertrench space during the cultivation of Scots pine seedlings in the open ground was carried out before and after the introduction of the integrated mineral fertilizer “Bazakot 6M” into the crop lines.

**Key words:** nursery forest, seedling, common pine, fertilizer prolonged, seeding division, granulometric composition, sowing, arable horizon.

**Введение.** В лесных питомниках при выращивании посадочного материала ежегодно выносятся большое количество элементов из

верхнего пахотного горизонта, это происходит за счет следующих факторов: поглощение корневых систем сеянцев при их росте, разложение

в почве микроорганизмов, частичное вымывание в нижних горизонтах, вынос сорняками, вынос пахотного слоя при выкопке семян. При выращивании семян повышается кислотность почв за счет поступления органических кислот при выделении корней растений за счет внесения удобрений, подкисляющих почву, и т. д. Поэтому в питомниках регулярно вносятся известковые удобрения. Однако при высокой величине pH растениями, особенно хвойными, плохо усваиваются элементы питания, что в дальнейшем приводит к уменьшению показателей роста посадочного материала в лесных питомниках [1–4].

При выращивании стандартного посадочного материала в лесных питомниках необходимо улучшать условия питания, чтобы получать биологически устойчивые семена и саженцы древесных пород, стойкие против неблагоприятных условий внешней среды, способные хорошо приживаться в лесных культурах и давать хороший прирост как по высоте, так и по диаметру. Эффективность удобрений в первую очередь зависит от его дозы и соотношения в питательной среде азота, фосфора и калия.

Сеянцы различных древесных пород неодинаково реагируют на разные количественные соотношения основных элементов минерального питания и концентрации почвенного раствора. Физиологически уравновешенным оптимальным соотношением N : P : K для хвойных пород является – 1,0 : 0,85 : 1,12 [5–7].

Рекомендации по применению удобрений в лесных питомниках строятся на экспериментальных данных полевых опытов с учетом выноса из почвы питательных веществ и сезонной динамики поступления их в растения [8, 9].

Изучение только выноса и сезонного поступления питательных веществ в растения в природных условиях не может быть основополагающим для определения уровня минерального питания. В противном случае пришлось бы под сеянцы вносить больше всего азота и намного меньше фосфора, так как сеянцы поглощают азота значительно больше [10, 11].

В качестве вносимого удобрения было выбрано комплексное минеральное удобрение пролонгированного действия «Базакот 6М». Оно состоит из NPK и микроэлементов, необходимых для роста растения. Каждая гранула покрыта органической полупроницаемой оболочкой (наподобие мембраны) из биоразлагаемой смолы, полученной из растительных жиров и полимера. После внесения удобрения «Базакот 6М» вода проникает через полупроницаемую оболочку и начинает растворять питательные вещества внутри гранулы. Выделение питательных веществ начинается после их рас-

творения благодаря разнице в осмотическом давлении. После этого растение способно усваивать питательные вещества. Удобрение начинает действовать на протяжении 1–2 недель, что зависит от длительности действия его. Гранулы удобрения начинают действовать при температуре, выше температуры заморозания. Под воздействием температуры оболочка реагирует на каждодневное выделение питательных веществ. Указанная продолжительность действия удобрения рассчитана на 21°C: при температуре выше – выделение питательных веществ будет быстрее, при низшей – медленнее, согласно требованиям растений в питании.

**Основная часть.** Выбор лесных питомников осуществлялся в зависимости от почвообразующих пород, на которых сформировались почвы посевных отделений. На территории Беларуси основные почвообразующие породы, на которых формируются большинство почв лесных питомников, представлены моренными, водно-ледниковыми и лессовидными породами. Поэтому проведение исследований включало в себя почвы, сформированные на перечисленных почвообразующих породах.

В результате изучения почвенных условий посевного отделения сосны обыкновенной в открытом грунте лесных питомников, а также определения почвенного плодородия было произведено их детальное обследование в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз», ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз», ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз», Негорельский учебно-опытный лесхоз, ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз», ГЛХУ «Логойский лесхоз» и в ГЛХУ «Могилевский лесхоз».

Определялись гранулометрический состав (по Н. А. Качинскому) и агрохимические свойства почв: гумус (метод И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова); актуальная кислотность (с применением pH-метра (Checker); гидролитическая кислотность по Каппену (применяли уксусно-кислый натрий); подвижные формы фосфора и железа (метод А. Т. Кирсанова); содержание в почве обменного калия по методу А. Д. Масловой на пламенном фотометре; аммонийный азот (с помощью реактива Несслера); определение нитратного азота (проводили ионометрическим методом).

Гранулометрический состав почв (табл. 1) оказывает существенное влияние на поглотельную способность, удержание и доступность элементов питания, обеспечение растений водой и питательными веществами, и как результат – плодородие почвы и, соответственно, эффективность применения удобрений. В табл. 1 представлено определение содержания фракций гранулометрического состава почв в пахотном горизонте лесных питомников.

Таблица 1

## Гранулометрический состав пахотного горизонта посевных отделений

| Лесхоз                             | Содержание фракций диаметром, мм |     |     |         |           |           |           |                  | Тип почв по гранулометрическому составу |
|------------------------------------|----------------------------------|-----|-----|---------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------------------------------|
|                                    | 7–5                              | 5–3 | 3–1 | 1,0–0,5 | 0,50–0,25 | 0,25–0,05 | 0,05–0,01 | Физическая глина |                                         |
| Негорельский учебно-опытный лесхоз | –                                | –   | 0,6 | 5,2     | 42,7      | 33,5      | 6,2       | 11,8             | Супесь рыхлая                           |
| ГЛХУ «Логойский лесхоз»            | –                                | –   | 0,3 | 3,7     | 10,5      | 19,8      | 42,5      | 23,2             | Суглинок легкий                         |
| ГЛХУ «Смолевичский лесхоз»         | 0,1                              | 0,8 | 4,6 | 11,6    | 13,1      | 40,7      | 11,3      | 17,8             | Супесь связная                          |
| ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз»         | –                                | –   | 0,5 | 5,1     | 41,3      | 34,5      | 5,8       | 12,8             | Супесь рыхлая                           |
| ГОЛХУ «Сморгонский лесхоз»         | –                                | 1,2 | 3,4 | 4,1     | 27,3      | 18,4      | 21,2      | 24,4             | Суглинок легкий                         |
| ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз»  | –                                | 2,5 | 5,3 | 9       | 20,5      | 17,1      | 19,5      | 26,1             | Суглинок легкий                         |
| ГЛХУ «Могилевский лесхоз»          | –                                | –   | 0,1 | 2,4     | 9,1       | 18,7      | 51,6      | 18,1             | Супесь связная                          |

Пахотные горизонты лесных питомников ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз» и ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз» представлены суглинком легким моренным. В ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» пахотный горизонт представлен супесью связной моренной. В них содержится значительное участие фракций крупнозема, также динамика содержания отдельных фракций довольно значительна в одном горизонте.

В Негорельском учебно-опытном лесхозе и ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз» почвы представлены супесью рыхлой водно-ледниковой. Во фракционном составе этих почв преобладают средний и мелкий песок от 33,5% до 42,7%, также отмечается отсутствие каменистых фракций.

В ГЛХУ «Логойский лесхоз» почвы представлены суглинком легким лессовидным. В гранулометрическом составе преобладает фракция крупной пыли 42,5%, также доля участия фракций крупнозема (более 1 мм) в составе не превышает 0,5%.

Анализируя таблицу, можно наблюдать следующие результаты: по происхождению почвообразующих пород и морфологическим признакам пахотные горизонты представлены супесью связной моренной, супесью рыхлой водно-ледниковой, супесью связной лессовидной, суглинком легким моренным и суглинком легким лессовидным. Для выращивания семян сосны обыкновенной в посевном отделении почва характеризуется хорошей структурой, порозностью и благоприятными водно-физическими свойствами, которые в наибольшей степени достигаются в данных условиях. Ниже

по профилю почва характеризуется более легким гранулометрическим составом, который обеспечивает отведение избытка влаги при выращивании семян.

Почвенная среда, содержание доступных элементов питания и наличие ионов в зоне ризосферы оказывают существенное влияние на питание растений и рост посадочного материала. В табл. 2 представлено определение кислотности и содержания поглощенных оснований почв в пахотном горизонте лесных питомников.

Величина кислотности pH почвы в большинстве обследуемых питомников в посевном отделении сосны обыкновенной характеризуется как среднекислая и варьирует от 4,0 до 5,0. Исключение составляют питомники лесхозов ГЛХУ «Логойский лесхоз», ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз» и Негорельский УОЛХ, в которых почва характеризуется как слабокислая и pH варьирует в верхних пахотных горизонтах от 5,1 до 5,5.

Внесение известковых удобрений на данных питомниках не требуется, так как величина pH находится в пределах ее оптимального диапазона при выращивании сосны обыкновенной, который составляет 4,5–5,5. Для оптимизации реакции почвенной среды только в посевном отделении ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» необходимо вносить известковые удобрения (там величина pH составляет 4,0). Величина гидролитической кислотности почв практически во всех питомниках лесхозов в посевном отделении сосны обыкновенной варьирует от 4,1 до 5,4 мг-экв. на 100 г почвы.

Таблица 2

**Кислотность почв и степень насыщенности почв основаниями**

| Питомники<br>лесхоза          | Актуальная<br>кислотность | Гидролит.<br>кислотность | Ca          | Mg          | Емкость<br>поглощения | Степень насы-<br>щенности почв<br>основаниями, % |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
|                               |                           | мг - экв. на 100 г почвы |             |             |                       |                                                  |
| Смолевичский лесхоз           | 4,0 ± 0,09                | 5,4 ± 0,09               | 1,56 ± 0,11 | 1,24 ± 0,15 | 8,20                  | 34,2                                             |
| Ивацевичский лесхоз           | 4,8 ± 0,08                | 4,6 ± 0,07               | 2,12 ± 0,13 | 2,54 ± 0,14 | 9,26                  | 50,3                                             |
| Могилевский лесхоз            | 5,0 ± 0,09                | 5,0 ± 0,06               | 3,24 ± 0,13 | 3,72 ± 0,12 | 11,96                 | 58,2                                             |
| Логойский лесхоз              | 5,5 ± 0,11                | 3,3 ± 0,12               | 2,98 ± 0,14 | 3,18 ± 0,11 | 9,46                  | 65,1                                             |
| Негорельский УОЛХ             | 5,2 ± 0,12                | 4,1 ± 0,11               | 3,05 ± 0,11 | 3,26 ± 0,11 | 10,41                 | 60,6                                             |
| Сморгонский опытный<br>лесхоз | 5,1 ± 0,09                | 4,4 ± 0,10               | 2,65 ± 0,12 | 2,56 ± 0,16 | 9,61                  | 54,2                                             |
| Глубокский опытный<br>лесхоз  | 4,7 ± 0,07                | 4,6 ± 0,09               | 2,84 ± 0,13 | 1,02 ± 0,12 | 8,46                  | 45,6                                             |

Таблица 3

**Содержание элементов питания в пахотном горизонте**

| Лесной питомник            | Гумус, % | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Fe         | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> |
|----------------------------|----------|-------------------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|
| Смолевичский лесхоз        | 2,37     | 11,2 ± 0,12                   | 21,5 ± 0,11      | 4,1 ± 0,12 | 25,1 ± 0,12     | 35,3 ± 0,12     |
| Ивацевичский лесхоз        | 2,78     | 8,6 ± 0,11                    | 18,4 ± 0,12      | 4,0 ± 0,11 | 16,2 ± 0,11     | 26,0 ± 0,13     |
| Логойский лесхоз           | 2,44     | 7,2 ± 0,11                    | 15,2 ± 0,13      | 3,8 ± 0,15 | 15,7 ± 0,13     | 25,6 ± 0,12     |
| Негорельский УОЛХ          | 1,76     | 9,8 ± 0,12                    | 18,6 ± 0,14      | 3,7 ± 0,14 | 16,8 ± 0,15     | 16,6 ± 0,14     |
| Сморгонский опытный лесхоз | 2,54     | 10,2 ± 0,11                   | 8,2 ± 0,15       | 3,6 ± 0,14 | 17,0 ± 0,14     | 26,9 ± 0,14     |
| Глубокский опытный лесхоз  | 2,44     | 7,0 ± 0,12                    | 11,4 ± 0,16      | 6,2 ± 0,13 | 16,9 ± 0,13     | 27,0 ± 0,15     |

Исключение составляет питомник ГЛХУ «Логойский лесхоз», почва здесь содержит 3,3 мг-экв. на 100 г почвы.

При выращивании семян сосны обыкновенной в посевном отделении лесных питомников содержание кальция варьирует от 1,56 до 3,24 мг-экв. на 100 г почвы, а содержание магния в пределах от 1,02 до 3,72 мг-экв. на 100 г почвы. Все посевное отделение характеризуется равномерным распределением по содержанию кальция и магния, значит нужно вносить по всей территории удобрения равномерно.

Степень насыщенности почв основаниями при выращивании семян сосны обыкновенной в посевном отделении всех лесных питомников варьирует от 34,2 до 65,1%. Исходя из всего вышесказанного, в первую очередь известкования требуют посевные отделения ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» и ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз», степень насыщенности почв основаниями там составляет 34,2% и 45,6% соответственно.

В табл. 3 представлено определение гумуса и содержания основных элементов питания почв в пахотном горизонте.

По содержанию гумуса все почвы лесных питомников в посевном отделении сосны обыкновенной

характеризуются средней степенью обеспеченности (значения составляют от 2,35 до 2,78%) и относятся к III группе [3]. Исключение составляет Негорельский УОЛХ: в посевном отделении сосны обыкновенной характеризуется низкой степенью обеспеченности и относится ко II группе обеспеченности, значение составляет 1,76%. На этом питомнике необходимо вносить органические удобрения в виде компоста.

Степень обеспеченности почв подвижными формами фосфора в посевном отделении сосны обыкновенной в открытом грунте относится во всех питомниках к средней степени: пределы от 8,1 до 15 мг на 100 г почвы. Исключение составляет посевное отделение Могилевского лесхоза – здесь степень обеспеченности почв фосфором высокая (табл. 4).

В ГЛХУ «Могилевский лесхоз» выращивание семян сосны обыкновенной производится в деревянных коробах, используется торф низинного болота в смеси с песком, степень разложения торфа – средняя, зольность торфа составила 12%.

Динамика содержания подвижных форм P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в пахотном горизонте довольно низкая, что свидетельствует о возможности равномерного внесения удобрений на территории всего посевного отделения.

Таблица 4

## Содержание элементов питания в коробах открытого грунта ГЛХУ «Могилевский лесхоз»

| Лесной питомник    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | pH   | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O |
|--------------------|-------------------------------|------|-----------------|-----------------|------------------|
| Могилевский лесхоз | 61,4 ± 1,56                   | 5,29 | 33,8 ± 0,75     | 254,3 ± 2,78    | 46,0 ± 1,62      |

По степени обеспеченности почв обменным калием получили следующие результаты: посевные отделения сосны обыкновенной в обследуемых питомниках относятся к средней, повышенной и высокой степени обеспеченности и варьируют от 8,2 до 21,5 мг на 100 г почвы. Посевные отделения лесных питомников Сморгонского опытного лесхоза и Глубокского опытного лесхозов относятся к средней степени обеспеченности обменным калием, посевные отделения ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» и ГЛХУ «Могилевский лесхоз» – повышенной, а Ивацевичского, Логойского и Негорельского УОЛХ – высокой степени.

Содержание подвижных форм железа во всех обследуемых питомниках в посевном отделении сосны обыкновенной варьирует от 3,65 до 6,18 мг на 100 г почвы. Наименьшее количество железа в почве посевного отделения питомника было обнаружено в ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз» – 3,65 мг на 100 г почвы, а наибольшее количество железа – 6,18 мг на 100 г почвы в ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз» соответственно.

Содержание аммиачного азота в почвах всех обследуемых питомников в посевном отделении сосны обыкновенной варьирует от 15,7 до 25,1 мг на кг почвы. Наибольшее количество аммиачного азота содержится в посевном отделении лесного питомника ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» – 25,1 мг на кг почвы, а во всех остальных питомниках содержание аммиачного азота примерно одинаковое.

Содержание нитратного азота во всех обследуемых питомниках в посевном отделении сосны обыкновенной составляет в среднем 26,23 мг на кг почвы. Наибольшее количество нитратного азота содержится в посевном отделении сосны обыкновенной находится в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» – 35,3 мг на кг почвы, а наименьшее количество нитратного азота – 16,6 мг на кг почвы, в Негорельском УОЛХ.

Были заложены опыты в посевном отделении по применению комплексного минерального удобрения пролонгированного действия «Базакот 6М» при выращивании сосны обыкновенной. Удобрения вносились одновременно с семенами в посевные строчки, использовали наиболее распространенную в питомническом хозяйстве схему посева: ленточную, четырехстрочную (с равномерным размещением строк) с расстоянием между строками 25 см и шириной строки 3 см.

Результаты по содержанию элементов питания в посевных строках наиболее эффективной дозировки удобрения «Базакот 6М» в конце вегетации представлены в табл. 5. Ранее были проведены опыты и установлено, что оптимальная доза данного удобрения составляет 2 г на п. м. Как видно из табл. 5, содержание всех элементов питания в посевном отделении сосны обыкновенной при применении удобрения «Базакот 6М» в дозировке 2 г на п. м увеличилось во всех испытываемых вариантах лесхозов по сравнению с данными до внесения.

Таблица 5

## Содержание элементов питания в посевных строках с применением удобрения «Базакот 6М» 2 г на п. м

| Лесной питомник            | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Fe         | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> |
|----------------------------|-------------------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|
| Смолевичский лесхоз        | 18,2 ± 0,15                   | 28,5 ± 0,14      | 5,1 ± 0,13 | 28,4 ± 0,15     | 45,0 ± 0,12     |
|                            | 10,7 ± 0,12                   | 12,5 ± 0,12      | 3,7 ± 0,14 | 16,5 ± 0,13     | 24,3 ± 0,16     |
| Ивацевичский лесхоз        | 12,6 ± 0,13                   | 23,5 ± 0,16      | 4,4 ± 0,14 | 21,5 ± 0,14     | 29,2 ± 0,13     |
|                            | 8,4 ± 0,12                    | 16,4 ± 0,14      | 3,6 ± 0,13 | 12,8 ± 0,12     | 13,4 ± 0,14     |
| Логойский лесхоз           | 14,5 ± 0,12                   | 21,6 ± 0,18      | 3,9 ± 0,13 | 18,4 ± 0,16     | 35,4 ± 0,16     |
|                            | 9,2 ± 0,13                    | 14,3 ± 0,13      | 3,7 ± 0,12 | 11,3 ± 0,14     | 18,9 ± 0,14     |
| Негорельский УОЛХ          | 15,8 ± 0,14                   | 25,2 ± 0,13      | 4,0 ± 0,17 | 19,6 ± 0,17     | 25,1 ± 0,15     |
|                            | 9,2 ± 0,12                    | 12,8 ± 0,14      | 3,2 ± 0,14 | 10,5 ± 0,14     | 17,3 ± 0,12     |
| Сморгонский опытный лесхоз | 18,2 ± 0,12                   | 14,8 ± 0,17      | 4,2 ± 0,15 | 21,2 ± 0,13     | 34,5 ± 0,17     |
|                            | 9,3 ± 0,11                    | 8,1 ± 0,14       | 3,8 ± 0,12 | 12,4 ± 0,12     | 18,6 ± 0,15     |
| Глубокский опытный лесхоз  | 12,0 ± 0,15                   | 17,6 ± 0,15      | 6,6 ± 0,12 | 25,0 ± 0,16     | 32,5 ± 0,16     |
|                            | 8,6 ± 0,13                    | 12,3 ± 0,12      | 5,1 ± 0,11 | 16,3 ± 0,14     | 19,5 ± 0,13     |

Примечание. В числителе указано содержание элементов питания в посевных строках, в знаменателе – в межстрочном пространстве.

Также мы наблюдали, что в результате внесения удобрений лишь в посевные строки количество сорной растительности в междурядьях существенно сократилось, прополки нужны были в основном в рядах. В связи с этим сократились трудозатраты на выращивание стандартного посадочного материала сосны обыкновенной.

Содержание фосфора и калия в посевных строках в конце вегетационного периода значительно выше по сравнению с межленточным пространством (в среднем на 28–49%).

Содержание нитратного и аммонийного азота также выше в среднем на 31–54%. Это связано прежде всего с продолжительным действием данного удобрения и постепенным его разложением при вегетации.

В межленточном пространстве по содержанию азота, фосфора и калия отмечается незначительная динамика (в пределах 3–5%) по сравнению с их содержанием до внесения удобрений в посевные строки.

**Заключение.** В результате проведенных исследований можно отметить что, пахотные

горизонты почв всех обследуемых посевных отделений лесных питомников представлены супесями и суглинками, развивающимися на различных почвообразующих породах. По содержанию гумуса также все питомники хорошо обеспечены, поэтому можно сделать вывод, что регулярно вносятся органические удобрения, по кислотности почвы тоже находятся в оптимальных пределах для выращивания сосны обыкновенной, исключение составляет посевное отделение лесного питомника Смолевичского лесхоза, в котором pH составляет 4,0 и необходимо вносить известковые удобрения для раскисления почвы.

Обеспеченность всеми элементами питания во всех представленных питомниках средняя и высокая, что позволяет сказать – применение удобрений на данных питомниках минимальное. Также нужно отметить, что содержание всех питательных элементов в посевных строках при внесении удобрения пролонгированного действия «Базакот 6М» увеличилось в среднем на 30–50%.

### Литература

1. Справочник по применению удобрений в лесном хозяйстве / В. С. Победов [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1977. 184 с.
2. Юреня А. В. Методика отбора среднего образца при анализе кислотности и гумуса в дерново-подзолистых почвах // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 221–222.
3. Туева О. Ф. Фосфор в питании растений. М.: Наука, 1966. 296 с.
4. Авдонин Н. С. Агрохимия М.: Изд-во Москов. ун-та, 1982. 344 с.
5. Роде А. А., Смирнов В. Н. Почвоведение. М.: Высш. шк., 1972. 480 с.
6. Иванов С. Н. Почвенные условия и применение удобрений. Минск: Урожай, 1968. 263 с.
7. Новосельцева А. И., Смирнов Н. А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесная пром-сть, 1983. 280 с.
8. Штефан В. К. Жизнь растений и удобрения. М.: Моск. рабочий, 1981. 240 с.
9. Артюшин А. М., Державин Л. М. Краткий словарь по удобрениям; изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1984. С. 208
10. Кальной П. Г. Система применения удобрений в питомниках. М.: Лесохозяйственная информация: ЦБНТИлесхоз, 1974. С. 32–37.
11. Слухай С. И. Питание и удобрение молодых древесных растений. Киев: Наукова думка, 1965. 301 с.

### References

1. Pobedov V. S., Shimanskiy P. S., Volchikov V. E., Prokshin D. N. *Spravochnik po primeneniyu udobreniy v lesnom khozyaystve* [Guide to the use of fertilizers in forestry]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1977. 184 p.
2. Yurenya A. V. Technique of selection medium sample in the analysis of acidity and humus in the sod-podzolic soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 221–222 (In Russian).
3. Tuyaeva O. F. *Fosfor v pitanii rasteniy* [Phosphorus in plant nutrition]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 296 p.
4. Avdonin N. S. *Agrokhimiya* [Agro]. Moscow, Izd-vo Moskovskogo universiteta Publ., 1982. 344 p.
5. Rode A. A., Smirnov V. N. *Pochvovedeniye* [Science Soil]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1972. 480 p.
6. Ivanov S. N. *Pochvennyye usloviya i primeneniyе udobreniy* [Soil conditions and the use of fertilizers]. Minsk, Urozhay Publ., 1968. 263 p.
7. Novoseltseva A. I., Smirnov N. A. *Spravochnik po lesnym pitomnikam* [Guide to forest nurseries]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1983. 280 p.

8. Shtefan V. K. *Zhizn rasteniy' i udobreniya* [Life of plants and fertilizers]. Moscow, Mosk. rabochiy Publ., 1981. 240 p.
9. Artyshin A. M., Derzhavin L. M. *Kratkiy slovar' po udobreniyam* [Brief Dictionary on Fertilizers]. Moscow, Kolos Publ., 1984. 208 p.
10. Kal'noy P. G. *Sistema primeneniya udobreniy v pitomnikakh* [System of application of fertilizers in nurseries]. Moscow, Lesokhozyaystvennaya informatsiya: TsBNTIleskhoz Publ., 1974, pp. 32–37.
11. Slykhaу С. I. *Pitaniye i udobreniye molodykh drevesnykh rasteniy* [Nutrition and fertilization of young woody plants]. Kiev, Naukova dumka Pabl., 1965. 301 p.

#### **Информация об авторах**

**Романчук Александр Валерьевич** – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexanderromanchuk1992@yandex.ru

**Юрeня Андрей Владимирович** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: urenya@belstu.by

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

**Romanchuk Aleksandr Valer'yevich** – PhD student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Alexanderromanchuk1992@yandex.ru

**Yurenja Andrey Vladimirovich** – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urenya@belstu.by

*Поступила 25.09.2018*

УДК 630\*238

**С. С. Штукин**

Белорусский государственный технологический университет

**О СОЗДАНИИ ЛЕСНЫХ УГЛЕРОДОДЕПОНИРУЮЩИХ ПЛАНТАЦИЙ**

Отмечено, что в результате прогрессирующего антропогенного воздействия на нашей планете происходит устойчивый рост концентрации углекислого газа и, как следствие, очевидное потепление и изменение климата из-за так называемого парникового эффекта. Существует мнение, что проблема потепления климата выходит на одно из первых мест в новом ряду вызовов XXI века и представляет собой угрозу развитию всему человечеству. Наиболее реальным путем, препятствующим потеплению климата на нашей планете, является создание лесных углерододепонирующих плантаций лесокультурными методами.

Именно лесовосстановление и лесоразведение являются приоритетными видами деятельности по увеличению стока атмосферного углерода и его аккумуляции в лесных экосистемах. Подчеркивается, что в России к созданию таких плантаций приступили еще в 2004 г. При этом углерододепонирующие искусственные насаждения создаются и выращиваются по плантационному типу и специальным проектам. Лесокультурные и лесоводственные мероприятия в лесных углерододепонирующих плантациях должны быть направлены на интенсификацию поглощения из атмосферы углекислого газа. Агротехника лесокультурных работ должна обеспечивать оптимальные условия почвенного питания и выращивания насаждений, а ко времени завершения лесокультурного производства – рекомендуемый состав древостоя. Особый интерес в этом плане представляет лиственница европейская и ее подвид – лиственница польская. Отмечена целесообразность научной проработки вопроса создания лесных углерододепонирующих плантаций и в Беларуси. Весомым аргументом в пользу данного вывода является ожидаемое значительное сокращение годичного поглощения CO<sub>2</sub> лесными насаждениями Беларуси в ближайшие годы.

**Ключевые слова:** парниковый эффект, колоссальные убытки, изменение лесорастительных условий, лесные углерододепонирующие плантации, вид лесных растений, лиственница европейская, схема смешения и размещения.

**S. S. Shtukin**

Belarusian State Technological University

**ON THE CREATION OF FOREST CARBON DEPOSITING PLANTATIONS**

It is noted that as a result of the progressive anthropogenic impact on our planet, there is a steady increase in the concentration of carbon dioxide and, as a result, an obvious warming and climate change due to the so-called greenhouse effect. There is an opinion that the problem of climate warming comes to one of the first places in the new series of challenges of the XXI century and represents a threat to the development of all mankind. The most realistic way of preventing climate warming on our planet is the creation of forest-bearing carbon plantations using forest-culture methods. It is reforestation and lumbering that are priority activities for increasing the flow of atmospheric carbon and its accumulation in forest ecosystems. It is emphasized that in Russia the creation of such plantations began in 2004. At the same time, carbon-deposited artificial plantings are created and grown according to the plantation type and special projects. Forest-cultural and silvicultural activities in forest carbon-bearing plantations should be aimed at intensifying the absorption of carbon dioxide from the atmosphere. Agro-engineering of silvicultural works should provide optimal conditions for soil feeding and cultivation of plantations, and by the time of the completion of silvicultural production, the recommended composition of the stand. Of particular interest in this regard is the European larch and its subspecies - Polish larch. The expediency of the scientific study of the issue of creating forest carbon-bearing plantations in Belarus was noted. A weighty argument in favor of this conclusion is the expected significant reduction in the annual absorption of CO<sub>2</sub> by forest plantations in Belarus in the coming years.

**Key words:** greenhouse effect, colossal losses, change of forest-growing conditions, forest carbon-tolerant plantations, forest plant species, European larch, scheme of mixing and placement.

**Введение.** В последние десятилетия, и особенно в последние годы, проблема глобального потепления климата очень сильно волнует, пожалуй, все население нашей планеты. В результате прогрессирующего антропогенного воз-

действия на природу происходит устойчивый рост концентрации углекислого газа и, как следствие, очевидное потепление и изменение климата из-за так называемого парникового эффекта. Существует мнение, что проблема по-

тепления климата выходит на одно из первых мест в новом ряду вызовов XXI века и представляет собой угрозу развитию всему человечеству [1]. Как заявил генеральный секретарь ООН Антониу Гутерреш, убытки от стихийных бедствий только в 2017 г. составили 320 млрд долл. Климатические изменения происходят так быстро, что мировое сообщество не успевает на них реагировать. Например, в 2017 г. США понесли колоссальные убытки из-за обрушившихся трех ураганов. При этом потери только от урагана «Харви», вызванного парниковым эффектом, составили 133,5 млрд долл. США.

**Основная часть.** Парниковый эффект – это свойство атмосферы пропускать солнечную радиацию, но задерживать земное излучение, что способствует накоплению тепла планеты. Потепление климата не может не способствовать изменению условий произрастания лесной растительности. Например, условия для произрастания ели за последние 100 лет в России сместились к северу на 300 км, а к 2050 г. это смещение увеличится до 400–500 км [2]. Исследования показали, что при потеплении климата на 0,8°C граница хвойных лесов в России передвигается на 1° широты, или на 100 км.

В связи с изменением условий произрастания лесных растений В. Ф. Багинский и О. В. Лапицкая пришли к выводу, что в настоящее время возраст рубки леса, который определяется величиной количественной и технической спелости, недостаточно учитывает проблемы экологизации лесопользования [3]. Авторы разработали новую экологическую спелость леса, которая базируется на максимизации депонирования углерода и зависит от максимальной величины среднего прироста насаждений за оборот рубки. Такая спелость леса обусловлена их возрастом, в котором достигается максимальная экологическая эффективность постоянного лесопользования.

В настоящее время уже не вызывает сомнения, что потепление климата требует усиления экологизации не только лесопользования, но и лесовыращивания. Это осуществляется путем создания и выращивания искусственных насаждений, обладающих повышенными углерододепонирующими, а заодно и связанными с ними кислородопroduцирующими свойствами [4–6].

В результате потепления климата в лесах, в которых сосредоточено 92% биомассы всех континентов нашей планеты, происходят значительные изменения. Как правило, это нежелательная смена пород, усыхание лесных насаждений, усиленное размножение энтомо- и фитовредителей, повышение пожарной опасности лесов [7–10]. Установлено, что основной причиной значительного сокращения площадей

ели европейской в Республике Беларусь стало именно потепление климата, которое способствовало смещению ареала распространения ели на север [3]. Особенно заметно усилился этот процесс в последние годы. Поэтому при создании искусственных лесов требуется учитывать сложившиеся новые экологические условия и хотя бы ориентировочно предвидеть динамику изменения условий обитания в первую очередь древесных растений, так как они являются на континентах нашей планеты наиболее мощными углеродонакопителями. Это сложнейшая задача, но ее решение – один из наиболее реальных и действенных путей преодоления последствий потепления климата, получивший мировое признание и предусмотренный Киотским протоколом.

Создание лесных биоценозов, обладающих повышенными углерододепонирующими и кислородопroduцирующими свойствами, обуславливает необходимость активизации деятельности лесоводов и ученых по разработке методов лесовосстановления и лесоразведения, способствующих достаточно весомому решению поставленной задачи. В связи с тем, что такие насаждения будут иметь целевой статус, их целесообразно называть лесными углерододепонирующими плантациями [1].

Создание лесных углерододепонирующих плантаций, получивших еще название «киотских» лесов, лесокультурными методами является наиболее реальным путем, препятствующим потеплению климата на нашей планете. Именно лесовосстановление и лесоразведение – приоритетные виды деятельности по увеличению стока атмосферного углерода и его аккумуляции в лесных экосистемах. Основная цель лесных углерододепонирующих плантаций – поглощение парниковых газов.

В России, как стране с наиболее близкими к нашей республике лесорастительными условиями, к созданию «киотских» лесов приступили еще в 2004 г., ежегодно используя на эти цели до 200 млн руб. [11]. Но реальная отдача от создания таких плантаций наступает только через 10–20 лет. По мнению же А. Р. Родина, возможно создание лесных углерододепонирующих плантаций, которые будут активно депонировать CO<sub>2</sub> уже в первые годы жизни [1]. С этой целью такие леса, по мнению автора, необходимо выращивать по специальным комбинированным проектам, позволяющим создавать искусственные биоценозы с максимальной углеродопоглощающей способностью. Для этого в создаваемые «киотские» леса, помимо древесных пород, вводятся кустарники, полукустарники, а также травянистые растения. Это позволит образовать на закультивированной пло-

щади всю совокупность биоценоза, который будет соответствовать высокобонитетным для данных лесорастительных условий древостоям естественного происхождения. В результате могут быть получены комбинированные, многоярусные и высокополнотные древостои и обеспечено интенсивное поглощение ими парниковых газов. Создание лесных углерододепонирующих плантаций с травами, кустарниками и полукустарниками способствует, по мнению А. Р. Родина, увеличению поглощения ими углерода уже в молодом возрасте [1]. Эта часть биоценоза активно поглощает  $\text{CO}_2$  до смыкания крон деревьев. После этого кустарники и полукустарники отмирают, а светолюбивые травы сменяются теневыносливыми.

При создании лесных углерододепонирующих плантаций в первую очередь необходимо учитывать интенсивность поглощения ими парниковых газов, которая зависит от вида лесных растений, а также от географических и климатических условий их произрастания. Максимальным фотосинтезом среди лиственных пород характеризуются береза повислая, липа мелколистная, тополь серый, тополь бальзамический, клен татарский, ива козья и др. [1]. Среди хвойных максимальным фотосинтезом обладает лиственница, которая поглощает углекислый газ в 2–2,5 раза быстрее, чем ель и почти в 1,5 раза интенсивнее, чем сосна. Это связано с тем, что хвоя лиственницы массой 1 кг продуцирует до 3 кг органического вещества, в то время как хвоя ели – 0,5–0,6, а сосны – 1,3–2 кг.

Даже частичная замена ели европейской лиственницей европейской, которая отличается быстрым ростом, высокой устойчивостью против промышленных выбросов за счет ежегодной смены хвои и дает качественную древесину, может способствовать существенному решению обсуждаемой проблемы. Не случайно лиственница европейская издавна привлекает внимание отечественных и зарубежных лесоводов своей долговечностью и стойкостью древесины против гниения, которая не находит широкого практического применения в условиях Беларуси, скорее всего, только по причине ее дефицита. Зато этот вид обладает неочевидными экологическими свойствами, так как на века связывает огромное количество углерода, что с каждым годом при оценке лесов на фоне усиливающихся природных катаклизмов приобретает все большее практическое значение.

При этом особое внимание следует уделить разведению еще более продуктивного подвиги лиственницы европейской – лиственницы польской, которая по интенсивности роста превосходит отечественные древесные породы и отличается от лиственницы европейской прямым стволом [12].

Лесокультурные и лесоводственные мероприятия в лесных углерододепонирующих плантациях должны быть направлены на интенсификацию поглощения из атмосферы углекислого газа. Так, агротехника лесокультурных работ должна обеспечивать оптимальные условия почвенного питания и выращивания насаждений, а ко времени завершения лесокультурного производства – рекомендуемый состав древостоя. Это требует применения новой, более действенной системы оценки качества лесокультурных работ. Некоторые положения такой системы уже разработаны и применяются на практике в техническом нормативно-правовом акте (ТНПА) – государственном стандарте Республики Беларусь (СТБ 2015–2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания»). Этот ТНПА разработан ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси» и УО «Белорусский государственный технологический университет». Документ утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь с 01.03.2018 г. В нем изложены наиболее современные требования не только к технологическим процессам создания и выращивания плантаций сосны и ели, но и требования к качеству создаваемых и выращиваемых лесных плантаций до рубки главного пользования [12]. Оценка качества данного ТНПА требует лишь некоторой доработки с учетом изменившейся цели лесовыращивания. В России аналогичный документ разработан Санкт-Петербургским государственным университетом имени С. М. Кирова [13].

Для создания «киотских» лесов в России рекомендуется использование крупномерного посадочного материала, а также потомство селекционно-отобранных быстрорастущих форм древесных растений, что позволит достигать высокого углерододепонирующего эффекта.

Подбор схем смешения и размещения лесных растений на культивируемой площади осуществляется с учетом лесорастительных условий, биологии культивируемых растений и интенсивности поглощения ими парниковых газов. При этом кустарники и полукустарники, по мнению А. Р. Родина, высаживаются между рядами древесных пород, а травы – узкой полосой в центре между рядами древесных пород и кустарников [1]. При подборе кустарников предпочтение отдается видам, которые образуют хорошо развитую крону, свидетельствующую, как правило, об интенсивном фотосинтезе. К сожалению, создание «киотских» лесов в России не всегда финансируется должным образом, что, однако, не следует воспринимать как правило. Ситуация с этой проблемой в современном мире уже в

ближайшем будущем может круто измениться. Весомым аргументом в пользу создания «киотских» лесов в нашей стране является прогрессирующее сокращение годичного поглощения углекислого газа сухоходными лесными насаждениями Беларуси, что связано с увеличением расчетной лесосеки по главному пользованию [14].

**Заключение.** В связи с изменением климата на нашей планете в Республике Беларусь как стране богатой лесами уже в ближайшем будущем может появиться реальная необходимость создания лесных углерододепонирующих плантаций. Способствовать улучшению и ускорению научной проработки требований к технологии создания и выращивания таких плантаций может наличие в Беларуси широкоплановых и длительных (начиная с 1976 г.) экспериментов в области интенсификации выращивания сосны, ели и лиственницы. Результаты этих экспериментов убедительно свидетельствуют о возможном получении высокого углерододепонирующего эффекта на лесных плантациях. Создавать и выращивать углерододепонирующие и одновременно кислородопroduцирующие искусственные насаждения следует по

плантационному типу и специальным проектам. Биология культивируемых лесных растений должна в полной мере соответствовать условиям среды, образовавшимся в результате потепления климата. Агротехника создания «киотских» лесов должна быть направлена на активизацию микробиологических и биохимических процессов пахотного горизонта и повышение его плодородия. Семенной и посадочный материал целесообразно использовать из более южных районов, где ранее условия роста лесных растений были аналогичны образовавшимся в результате потепления климата. Оценку качества создаваемых лесных углерододепонирующих плантаций, как и лесных плантаций, ориентированных на ускоренное выращивание балансовой и крупной древесины, следует осуществлять от подготовки площади до рубки главного пользования. При этом возможно использование опыта разработки ТНПА (СТБ 2015-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания»), для чего понадобится лишь некоторое совершенствование нормативного документа с учетом изменившейся цели лесовыращивания.

### Литература

1. Родин А. Р. Искусственное лесовыращивание: избранные труды. 2-е изд. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 256 с.
2. Кашкоров Г. Н., Поморцева О. А. Глобальное потепление климата: ритмическая основа прогноза и ее практическое значение в охране лесов Северного полушария // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV. № 2–3. С. 207–216.
3. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Запас депонированного углерода как организационный элемент экологизированного лесопользования // Труды БГТУ. 2018. № 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. С. 37–43.
4. Шутов И. В., Маркова И. А., Постников М. В. Плантационное лесоводство / под общ. ред. И. В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 366 с.
5. Маркова И. А. Ускоренное выращивание лесных культур сырьевого назначения // Стационарные опытные объекты. 2008. С. 105–111.
6. Писаренко А. И., Страхов В. В. Перспективы развития лесных плантаций как основы лесовосстановления // Лесное хоз-во. 2014. № 5. С. 2–6.
7. Сарнацкий В. В. Зонально-типологические закономерности периодического массового усыхания ельников Беларуси // Труды БГТУ. 2012. № 1: Лесное хоз-во. С. 274–276.
8. Ярук А. В., Звягинцев В. Б. Распространенность халарового некроза в насаждениях и посадках ясеня обыкновенного // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 207–210.
9. Популяционные показатели короёда-типографа в усыхающих еловых насаждениях Оршанско-Могилевского лесорастительного района / Л. Ю. Ларина [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 1: Лесное хоз-во. С. 242–244.
10. Никонов М. В. Природно-антропогенные нарушения и восстановительный потенциал лесов Новгородской области // 10 лет на службе новгородского леса. Великий Новгород, 2004. 160 с.
11. Кудрявцев А. Киотские леса против глобального потепления // Лесной эксперт. 2007. № 6 (43). С. 90–92.
12. Штукин С. С. Ускоренное выращивание сосны, ели и лиственницы на лесных плантациях. Минск: ИООО «Право и экономика», 2004. 242 с.
13. Маркова И. А. Плантации ели европейской и сосны обыкновенной. Методика оценки и показатели качества плантационных культур до 50 лет. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 32 с.
14. Рожков Л. Н. Прогноз годичных потоков «стока – эмиссии» углекислого газа лесной экосистемой Беларуси // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 100–102.

## References

1. Rodin A. R. *Iskusstvennoye lesovyrashchivaniye: izbrannyye trudy* [Artificial forest growing: selected works]. Moscow, FGBOU VPO MGUL Publ., 2014. 256 p.
2. Kashkorov G. N., Pomortseva O. A. Global Climate Warming: The Rhythmic Basis of the Forecast and Its Practical Importance in Protecting Forests of the Northern Hemisphere. *Khvoynyye boreal'nyye zony* [Coniferous Boreal Zone], 2007, vol. XXIV, no. 2–3, pp. 207–216 (In Russian).
3. Baginsky V. F., Lapitskaya O. V. Stock of deposited carbon as an organizational element of ecologized forest management. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2019, no. 1: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 37–43 (In Russian).
4. Shutov I. V., Markova I. A., Postnikov M. V. *Plantatsionnoye rukovodstvo* [Plantation forestry, under total]. St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2007. 366 p.
5. Markova I. A. Accelerated cultivation of forest crops for primary use. *Statsionarnyye opytnyye ob'yekty* [Stationary Experimental Objects], 2008, pp. 105–111 (In Russian).
6. Pisarenko A. I., Strakhov V. V. Prospects for the Development of Forest Plantations as the Basis of Reforestation. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2014, no. 5, pp. 2–6 (In Russian).
7. Sarnatsky V. V. Zonal-typological regularities of periodic mass drying of spruce forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 1: Forestry, pp. 274–276 (In Russian).
8. Yaruk A. V., Zvyagintsev V. B. Prevalence of halar necrosis in plantings and plantings of ash trees. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 207–210 (In Russian).
9. Larinina Yu. A., Kukhta V. V., Blintsov A. I., Sazonov A. A. Population indicators of the bark beetle-typographer in drying spruce plantations of the Orsha-Mogilevsky forest area. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 1: Forestry, pp. 242–244 (In Russian).
10. Nikonov M. V. Natural and anthropogenic disturbances and the regenerative potential of forests of the Novgorod region. *10 let na sluzhbe novgorodskogo lesa. Velikiy Novgorod* [10 years in the service of the Novgorod forest. Velikiy Novgorod], 2004. 160 p. (In Russian).
11. Kudryavtsev A. Kyoto forests against global warming. *Lesnoy ekspert* [Forest Expert], 2007, no. 6 (43), pp. 90–92 (In Russian).
12. Shtukin S. S. *Uskorennoye vyrashchivaniye sosny, eli i listvennitsy na lesnykh plantatsiyakh* [Accelerated cultivation of pine, spruce and larch on forest plantations]. Minsk, TOOO “Pravo i ekonomika” Publ., 2004. 242 p.
13. Markova I. A. *Plantatsii eli evropeyskoy i sosny obyknovennoy. Metodika otsenki i pokazateli kachestva plantatsionnykh kul'tur do 50 let* [Plantation of European spruce and Scots pine. Methods of assessment and quality indicators of plantation crops up to 50 years: guidelines]. St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2016. 32 p.
14. Rozhkov L. N. Forecast of annual flows of “runoff-emission” of carbon dioxide by the forest ecosystem of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 100–102 (In Russian).

## Информация об авторе

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

## Information about the author

**Shtukin Sergey Sergeevich** – Dsc (Agriculture), Professor, Professor, the Department of Forestry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: hss@belstu.by

Поступила 29.10.2018

УДК 630\*232.311.3

**Н. И. Якимов, Н. К. Крук, А. В. Юреня**

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА  
ЛЕСОСЕМЕННЫХ ПЛАНТАЦИЙ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ**

Приводятся результаты исследования морфометрических показателей шишек ели европейской, собранных с плантаций разных лесхозов. Установлено, что по размерам и массе шишек не имеется достоверной разницы, поэтому шишки на исследованных плантациях примерно одинаковые по массе и крупности. Полученные результаты свидетельствуют о выравнивании морфометрических показателей и массы лесосеменного сырья на разных плантациях ели. Показатели качества семян на исследованных плантациях также существенно не отличаются. Масса 1000 шт. семян равна 5,87–6,08 г. Энергия прорастания их составляет 59–69%, всхожесть – 76–81%. По этим показателям семена соответствуют второму классу качества.

Важнейшим показателем, который характеризует урожайность плантаций, является процент выхода семян из шишек. В наших исследованиях выход семян составил 3,3–3,6%. В производственных условиях средний выход семян ели около 2%. В цехах по переработке лесосеменного сырья при недостаточном раскрытии шишек часть семян не извлекаются. Поэтому важной задачей является увеличение выхода семян ели путем совершенствования технологии их переработки.

**Ключевые слова:** шишки ели, морфометрические показатели, масса, качество семян, выход семян.

**N. I. Yakimov, N. K. Kruk, A. V. Yurenja**

Belarusian State Technological University

**ASSESSMENT OF SEED MATERIAL  
OF FOREST SEED PLANTATION OF EUROPEAN SPRUCE**

The results of the study of morphometric parameters of cones of European spruce collected from plantations of different forestry are presented. It has been established that there is no reliable difference in the size and mass of cones. Therefore, the cones on the investigated plantations have approximately the same mass and size. The obtained results indicate the equalization of morphometric parameters and the mass of forest seed raw material in different spruce plantations. Indicators of seed quality in the investigated plantations are also not significantly different. Weight: 1000 pcs. seeds is 5.87–6.08 g. The energy of seed germination is 59–69%, the germination rate is 76–81%. For these indicators, the seeds correspond to the second class of quality.

The most important indicator that characterizes the yield of plantations is the percentage of yield of seeds from cones. In our studies, the yield of seeds was 3.3–3.6%. In the production conditions, the average yield of spruce seeds is about 2%. In the workshops for processing seed-bearing raw materials, with insufficient opening of the cones, some seeds remain not extracted. Therefore, an important task is to increase the yield of spruce seeds by improving the technology of their processing.

**Key words:** cones of spruce, morphometric parameters, mass, seed quality, seed yield.

**Введение.** Использование для лесовосстановления семян ели европейской, заготовленных на лесосеменных плантациях, позволяет не только увеличить продуктивность и устойчивость вновь создаваемых лесных насаждений, но и улучшить их качество и сократить сроки выращивания технически спелой древесины [1–2]. Многие исследователи считают, что основной недостаток использования семенного материала лесосеменных плантаций заключается в снижении генетического разнообразия и низкой степени изменчивости признаков, что является одной из составляющих устойчивости лесов против неблагоприятных факторов внешней среды. После вступления плантаций в гене-

ративный возраст в результате переопыления между деревьями генетическая изменчивость семенного потомства в результате скрещивания существенно не увеличивается [3–4]. Потери генетического разнообразия могут происходить в результате отбора плюсовых деревьев по фенотипу, использования ограниченного количества клонов на плантациях и различной урожайности введенных клонов [5].

Важнейшим показателем лесосеменных плантаций является репродуктивная активность семенных деревьев. По урожайности шишек и семян отдельные клоны могут различаться в 2–3 раза, что обуславливается наследственными особенностями [1]. Кроме наследственных осо-

бенностей, урожайность плантации зависит от возраста семенных деревьев, а также погодных условий в годы закладки цветочных почек, цветения и развития шишек. Немаловажную роль в повышении урожайности плантаций играют густота посадки и уход как за семенными деревьями, так и за почвой.

Вопросы урожайности лесосеменных плантаций освещены во многих публикациях [6–9], тем не менее исследование морфометрических показателей лесосеменного материала, выхода из них семян, а также показателей качества семян является важной задачей.

**Основная часть.** Исследования проводились на лесосеменных плантациях ели европейской Глубокского опытного, Полоцкого и Крупского лесхозов. Для оценки лесосеменного материала производилось определение биометрических параметров шишек (длина, диаметр, масса), заготовленных на лесосеменных плантациях. Также выполнялась сравнительная оценка качества семян ели на разных лесосеменных плантациях в соответствии с ТКП 546-2014 [10].

С этой целью на каждой плантации закладывались пробные площади с количеством деревьев не менее 50 шт. На каждой пробной площади из средней части кроны деревьев собиралось по 10 шишек и формировался средний образец для определения средней массы одной шишки и процента выхода семян. Собранные шишки помещали в полиэтиленовые пакеты и до определения биометрических показателей хранили в холодильнике при +4°C для предотвращения их раскрытия и искажения линейных размеров. Шишки взвешивали, длину и диаметр каждой в двух взаимно перпендикулярных

направлениях измеряли штангенциркулем с точностью до 1 мм.

После сушки шишек извлекали семена, определяли массу 1000 шт. и выход их из шишек. Анализ качества семян проводился в лесосеменной лаборатории. Определялись энергия прорастания семян и всхожесть, по которой устанавливался класс качества.

Для последующего анализа использованы наиболее информативные биометрические показатели шишки: масса, длина, средний диаметр, выход семян из шишек. Выход семян рассчитывали отношением массы полнотелых семян к массе шишек и выражали в процентах.

Камеральная обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии с современными математико-статистическими и общепризнанными методиками, действующими ГОСТами и инструкциями. Математическая обработка материалов произведена с помощью прикладных статистических программ.

Морфометрические показатели и статистическая обработка шишек ели европейской, собранных с разных лесосеменных плантаций, представлены в табл. 1.

На плантации Глубокского лесхоза средняя длина шишек составляет 12,7 см, диаметр – 2,9 см. Масса шишек варьирует от 21 до 34 г и в среднем составляет 29 г.

В Полоцком лесхозе морфометрические показатели шишек несколько меньше: средняя их длина составляет 10,5 см, средний диаметр – 2,4 см, средняя масса шишки – 27,7 г.

Плантация ели Крупского лесхоза характеризуется следующими параметрами шишек: средняя длина – 11,4 см, средний диаметр – 2,7 см, средняя масса шишки – 30 г.

Таблица 1

**Морфометрические показатели шишек на лесосеменных плантациях ели европейской**

| Показатели                                         | <i>M</i> | $\pm m$ | min | max  | $\sigma$ | <i>V</i> , % | <i>P</i> , % |
|----------------------------------------------------|----------|---------|-----|------|----------|--------------|--------------|
| Глубокский опытный лесхоз, Глубокское л-во, кв. 33 |          |         |     |      |          |              |              |
| Длина шишек, см                                    | 12,7     | 0,16    | 9,9 | 15,5 | 1,12     | 8,8          | 1,25         |
| Диаметр шишек, см                                  | 2,9      | 0,03    | 2,4 | 3,6  | 0,24     | 8,3          | 1,03         |
| Масса одной шишки, г                               | 29,0     | 0,37    | 21  | 34   | 2,6      | 8,9          | 1,27         |
| Выход семян, %                                     | 3,3      | –       | –   | –    | –        | –            | –            |
| Полоцкий лесхоз, Ветринское л-во, кв. 9            |          |         |     |      |          |              |              |
| Длина шишек, см                                    | 10,5     | 0,15    | 8,4 | 13,8 | 1,08     | 10,2         | 1,42         |
| Диаметр шишек, см                                  | 2,4      | 0,04    | 1,9 | 3,2  | 0,26     | 10,8         | 1,67         |
| Масса одной шишки, г                               | 27,7     | 0,40    | 18  | 32   | 2,8      | 10,1         | 1,44         |
| Выход семян, %                                     | 3,5      |         |     |      |          |              |              |
| Крупский лесхоз, Бобрское л-во, кв. 45             |          |         |     |      |          |              |              |
| Длина шишек, см                                    | 11,4     | 0,17    | 8,5 | 14,5 | 1,20     | 10,5         | 1,49         |
| Диаметр шишек, см                                  | 2,7      | 0,03    | 2,2 | 3,4  | 0,24     | 8,9          | 1,11         |
| Масса одной шишки, г                               | 30,0     | 0,46    | 21  | 37   | 3,2      | 10,7         | 1,53         |
| Выход семян, %                                     | 3,6      | –       | –   | –    | –        | –            | –            |

Результаты сравнения морфометрических показателей шишек, собранных с плантаций разных лесхозов, с использованием  $t$ -критерия Стьюдента показали, что между ними не имеется достоверной разницы ( $t < 2$ ), т. е. шишки на всех плантациях примерно одинаковые по массе и крупности.

На всех анализируемых плантациях коэффициенты вариации длины, диаметра шишек и их массы имеют небольшую изменчивость, которая колеблется в пределах 8,3–10,8%. По шкале С. А. Мамаева это соответствует низкому уровню изменчивости [11].

Одним из важнейших показателей, характеризующих урожайность плантаций, является процент выхода семян из шишек. В производственных условиях средний выход семян ели составляет около 2%. В наших исследованиях выход семян составил 3,3–3,6%. Это можно объяснить тем, что при получении семян в лабораторных условиях ручным способом путем выбивания их из шишек извлекались практически все семена. При больших объемах переработки семян в производственных условиях шишки в зависимости от их влажности имеют разную раскрываемость, и поэтому часть семян остается не извлеченной из шишек. Важной задачей является увеличение выхода семян ели при переработке шишек в производственных условиях.

Масса шишек является показателем, который характеризует их крупность. Как правило, большие по массе шишки имеют большие раз-

меры. В крупных шишках содержится большее количество разнообразных биологически активных веществ, необходимых для формирования и развития семян.

В табл. 2 приведены коэффициенты вариации и дифференциации массы шишек ели европейской на лесосеменных плантациях, собранных с разных плантаций. Коэффициент вариации массы шишек колеблется в пределах 8,9–10,7%. По шкале С. А. Мамаева это соответствует низкому уровню изменчивости. Величина коэффициента дифференциации варьирует от 28,8% до 35,5%. По степени дифференциации признака это соответствует средней дифференциации массы шишек. Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о выравнивании морфометрических показателей и массы шишек на разных плантациях ели.

Основными показателями качества семян являются масса 1000 шт., энергия прорастания и их всхожесть. В табл. 3 приведены результаты лабораторного анализа семян ели европейской, полученные на лесосеменных плантациях Глубокского опытного, Полоцкого и Крупского лесхозов.

Масса 1000 шт. семян на исследованных плантациях существенно не отличается и колеблется в пределах 5,87–6,08 г. Энергия прорастания семян отличается незначительно и составляет 59–69%. По всхожести семена также существенно не отличаются и имеют примерно одинаковую всхожесть (76–81%), что соответствует второму классу качества.

Таблица 2

**Коэффициенты вариации и дифференциации массы шишек  
на лесосеменных плантациях**

| Лесосеменные объекты                               | Коэффициент вариации, % | Уровень изменчивости по шкале Мамаева | Коэффициент дифференциации, % | Степень дифференциации |
|----------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Глубокский опытный лесхоз, Глубокское л-во, кв. 33 | 8,9                     | Низкий                                | 32,5                          | Средняя                |
| Полоцкий лесхоз, Ветринское л-во, кв. 9            | 10,1                    | Низкий                                | 28,8                          | Средняя                |
| Крупский лесхоз, Бобрское л-во, кв. 45             | 10,7                    | Низкий                                | 35,5                          | Средняя                |

Таблица 3

**Качество семян ели на лесосеменных плантациях**

| Лесосеменная плантация                             | Масса 1000 шт. семян, г | Энергия прорастания семян, % | Всхожесть, % | Класс качества |
|----------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------|----------------|
| Глубокский опытный лесхоз, Глубокское л-во, кв. 33 | 6,08                    | 61                           | 77           | 2              |
| Полоцкий лесхоз, Ветринское л-во, кв. 9            | 5,94                    | 59                           | 76           | 2              |
| Крупский лесхоз, Бобрское л-во, кв. 45             | 5,87                    | 69                           | 81           | 2              |

**Заключение.** Результаты исследования морфометрических показателей шишек ели европейской, собранных с плантаций разных лесхозов, показали, что между ними не имеется достоверной разницы ( $t < 2$ ), т. е. шишки на всех плантациях примерно одинаковые по массе и крупности. Коэффициент вариации массы шишек колеблется в пределах 8,9–10,7%, что соответствует низкому уровню изменчивости. По степени дифференциации масса шишек характеризуется средней степенью дифференциации (28,8–35,5%). Приведенные результаты свидетельствуют о выравнивании морфометрических показателей и массы шишек на разных плантациях ели европейской.

Показатели качества семян на исследованных плантациях также существенно не отличаются. Масса 1000 шт. семян находится в пределах 5,87–6,08 г, энергия прорастания семян со-

ставляет 59–69%, семена имеют примерно одинаковую всхожесть (76–81%), что соответствует второму классу качества. Второй класс по всхожести объясняется тем, что в пробе присутствовали пустые семена, которые в лабораторных условиях трудно отделить.

Одним из важнейших показателей, характеризующих урожайность плантаций, является процент выхода семян из шишек. В наших исследованиях выход семян составил 3,3–3,6%, в то время как в производственных условиях средний выход семян ели около 2,3%. Это можно объяснить тем, что в условиях массовой переработки шишки имеют разную степень раскрытости и поэтому часть семян не извлекается.

Важной задачей для лесного семеноводства является увеличение выхода семян ели при переработке лесосеменного сырья путем более полного извлечения их из шишек.

### Литература

1. Царев А. П., Погиба С. П., Тренин В. В. Селекция и репродукция лесных древесных пород: учебник / под ред. А. П. Царева. М.: Логос, 2001–2003. 520 с.
2. Енальский А. П., Хамитов Р. С. Изменчивость шишек ели на лесосеменной плантации Вологодского селекцентра: матер. X Всеросс. науч.-практ. конф. «Тобольск научный – 2013». Тобольск, 2013. С. 94–96.
3. Stoehr M. U., El-Kassaby Y. A. Levels of genetic diversity at different stages of the domestication cycle of interior spruce in British Columbia. *Theoretical and Applied Genetics*. 1997. Vol. 94, issue 1. P. 83–90.
4. El-Kassaby Y. A., Namkoong G. Genetic diversity of forest tree plantations: consequences of domestication. *Consequences of changes in biodiversity*. IUFRO World Congress. Tampere, Finland. 1995. Vol. 2. P. 218–228.
5. Harju A. Genetic functioning of Scots pine seed orchards. *Acta Universitatis Ouluensis*. Finland: University of Oulu, 1995. 271 p.
6. Karlsson B., Rosvall O. Norway spruce. Breeding Programs in Sweden. Arbetsrapport No. 302. Uppsala: Scog Forsk, 1995. P. 16–21.
7. Review of the Swedish tree breeding programmes. Uppsala: Scog Forsk, 2011. 84 p.
8. Лаур Н. В. Лесная селекция и семеноводство в Карелии. М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2012. 160 с.
9. Ефимов Ю. П. Семенные плантации в лесной селекции семеноводства: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Йошкар-Ола, 1997. 45 с.
10. Правила оценки посевных качеств семян лесных растений: ТКП 546-2014. Введ. 19.09.2014. Минск: Минлесхоз, 2014. 35 с.
11. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 283 с.

### References

1. Tsaryev A. P., Pogiba S. P., Trenin V. V. *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod* [Selection and reproduction of forest tree species]. Moscow, Logos Publ., 2001–2003. 520 p.
2. Enal'skiy A. P., Chamitov R. S. [Variability of cones of spruce on the seed-bearing plantation of the Vologda selection centre]. *Materialy X Vseross. nauch.-prakt. konf. ("Tobol'sk nauchnyy – 2013")* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conf. ("Tobol'sk Scientific – 2013")]. Tobol'sk, 2013, pp. 94–96 (In Russian)
3. Stoehr M. U., El-Kassaby Y. A. Levels of genetic diversity at different stages of the domestication cycle of interior spruce in British Columbia. *Theoretical and Applied Genetics*. 1997, vol. 94, issue 1, pp. 83–90.
4. El-Kassaby Y. A., Namkoong G. Genetic diversity of forest tree plantations: consequences of domestication. *Consequences of changes in biodiversity*. IUFRO World Congress. Tampere, Finland. 1995, vol. 2, pp. 218–228.

5. Harju A. Genetic functioning of Scots pine seed orchards. *Acta Universitatis Ouluensis*. Finland, University of Oulu, 1995. 271 p.
6. Karlsson B., Rosvall O. Norway spruce. *Breeding Programs in Sweden*. Arbetsrapport no. 302. Uppsala, Skog Forsk, 1995, pp. 16–21.
7. *Review of the Swedish tree breeding programmes*. Uppsala, Skog Forsk, 2011. 84 p.
8. Laur N. V. *Lesnaya selektsiya i semenovodstvo v Karelii* [Forest selection and seed production in Karelia]. Moscow, Moskovskiy gos. un-t. Publ., 2012. 160 p.
9. Efimov U. P. *Semennyye plantatsii v lesnoy selektsii semenovodstva*. *Avtoref. dis. doct. s.-kh. nauk*. [Seed plantations in the forest seed breeding selection. Doct. Diss.]. Yochkar-Ola, 1997. 45 p.
10. ТКР 546-2014. Rules for assessing the sowing qualities of seeds of forest plants. Minsk, Ministry of Forestry, 2015. 55 p. (In Russian).
11. Mamayev S. F. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of Pinaceae family in the Urals)]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 283 p.

#### Информация об авторах

**Якимов Николай Игнатьевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: yakimov@belstu.by

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

**Юреня Андрей Владимирович** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: urenja@belstu.by

#### Information about the authors

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

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

**Urenya Andrei Vladimirovich** – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urenja@belstu.by

Поступила 25.09.2018

# ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

---

УДК 595.753 + 632.75(476)

Д. Г. Жоров, С. В. Буга

Белорусский государственный университет

## ИНВАЗИВНЫЕ ВИДЫ ГЕМИПТЕРОИДНЫХ НАСЕКОМЫХ (INSECTA: HEMIPTEROIDEA) В КОМПЛЕКСАХ ФИТОФАГОВ – ВРЕДИТЕЛЕЙ ДЕКОРАТИВНЫХ ЛИСТВЕННЫХ И ХВОЙНЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Установлен таксономический состав комплексов инвазивных видов гемиптероидных насекомых-фитофагов – вредителей декоративных лиственных и хвойных деревьев и кустарников в условиях Беларуси. Констатируется, что на территории всех 6 административных областей, всех 5 ландшафтно-географических провинций, 7 лесорастительных и 4 агроклиматических зон, а также 5 интродукционно-дендрологических районов Беларуси в качестве вредителей декоративных лиственных и хвойных деревьев и кустарников выступают 36 видов гемиптероидных насекомых, в числе которых 27 видов тлей (Aphidoidea), 2 вида цикадовых – по одному виду Fulgoroidea и Cicadelloidea, 2 вида кокцид (Coccoidea), 1 вид псиллид, или листоблошек (Psylloidea), 3 вида хермесов (Phylloxeroidea) и 1 вид бахромчатокрылых насекомых, или трипсов (Thripidoidea). Декоративные лиственные деревья и кустарники повреждают 27 видов гемиптероидных насекомых, в числе которых 22 вида тлей (Aphidoidea), по одному виду Fulgoroidea и Cicadelloidea, 1 вид кокцид (Coccoidea), 1 вид псиллид, или листоблошек (Psylloidea), и 1 вид бахромчатокрылых насекомых, или трипсов (Thripidoidea). В качестве вредителей декоративных хвойных пород выступают 9 видов сосущих фитофагов, в числе которых 5 видов настоящих тлей (Aphidoidea), 3 вида хермесов (Phylloxeroidea) и 1 вид кокцид (Coccoidea). Некоторые представители – тли *Aphis gossypii* Glover, *Aphis craccivora* Koch, *Aphis spiraecola* Patch, *Aphis spiraephaga* F. P. Müller, *Myzus ligustri* (Mosley) – являются переносчиками ряда вирусных заболеваний растений.

**Ключевые слова:** биологические инвазии, вредители, Hemipteroidea, фауна, зеленые насаждения.

D. G. Zhorov, S. V. Buga

Belarusian State University

## INVASIVE SPECIES HEMIPTEROIDEA – PESTS DECIDUOUS AND CONIFEROUS ORNAMENTAL PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF BELARUS

The taxonomic composition of the complexes of invasive hemipteroid insect – pests of ornamental deciduous and coniferous trees and shrubs under the conditions of Belarus are overviewed. For the territory of all 6 administrative regions, all 5 landscape-geographical provinces, 7 forest and 4 agroclimatic zones, as well as 5 introduction-dendrological regions of Belarus 36 alien species – 27 species of Aphidoidea, 1 species of Fulgoroidea, 1 species of Cicadelloidea, 2 species of Coccoidea, 1 species of Psylloidea, 3 species of Phylloxeroidea and 1 species of Thripidoidea damage decorative deciduous and coniferous trees and shrubs. 27 alien species – 22 species of Aphidoidea, 1 species of Fulgoroidea, 1 species of Cicadelloidea, 1 species of Coccoidea, 1 species of Psylloidea and 1 species of Thripidoidea – are pests of decorative deciduous trees and shrubs. 9 species of hemipteroid insects – 5 species of Aphidoidea, 3 species of Phylloxeroidea and 1 species of Coccoidea – are pests of coniferous trees and shrubs. Aphids *Aphis gossypii* Glover, *Aphis craccivora* Koch, *Aphis spiraecola* Patch, *Aphis spiraephaga* F. P. Müller, *Myzus ligustri* (Mosley) are vectors of plant viruses.

**Key words:** biological invasions, pests, Hemipteroidea, fauna, green planting.

**Введение.** Расширение географии международной торговли, рост межконтинентальных и межрегиональных грузопотоков и грузопере-

возок, а также наблюдающиеся изменения регионального климата выступают в качестве предпосылок для интенсификации проникнове-

ния на территорию Республики Беларусь чужеродных видов животных и растений, которые могут оказывать существенное влияние на состав аборигенной флоры и фауны, структуру биологического разнообразия в целом [1].

Широкое присутствие в составе декоративных зеленых насаждений большого числа интродуцентов из числа хвойных и лиственных деревьев и кустарников поспособствовали натурализации в новых условиях их специализированных фитофагов, проникающих из исходных ареалов произрастания их кормовых растений. Чужеродные для фауны Беларуси растительноядные насекомые, в частности гемиптероидные, представляют собой многочисленную группу вредителей, деятельность которых приводит к негативным экологическим и экономическим последствиям, в силу чего они должны рассматриваться в качестве инвазивных [2].

Наиболее серьезными вредителями декоративных посадок считаются те виды фитофагов, которые ежегодно дают вспышки массового размножения, приводят к сильному ослаблению и угнетению древесно-кустарниковых растений, инициируя различного вида тераты, преждевременное пожелтение (хлоротизацию) и опадение листвы, отмирание отдельных ветвей растений или полную их гибель [3], а также могут выступать в качестве переносчиков фитопатогенных вирусов [4, 5].

В представленной статье приводится информация о сформировавшихся в условиях зеленых насаждений Беларуси комплексах инвазивных

видов гемиптероидных насекомых – вредителей хвойных и лиственных деревьев и кустарников.

**Материалы и методы.** В основу публикации положены результаты многолетних энтомо-фитопатологических обследований хвойных и лиственных древесных растений, произрастающих в декоративных зеленых насаждениях городов, поселков городского типа и иных населенных пунктов на территории всех 6 административных областей, всех 5 ландшафтно-географических провинций [6], 7 лесорастительных [7] и 4 агроклиматических зон [8], а также 5 интродукционно-дендрологических районов [9] Республики Беларусь на предмет наличия инвазивных видов гемиптероидных насекомых-фитофагов и инициируемых ими повреждений. Помимо произрастающих в условиях населенных пунктов, обследовались также древесные растения в естественных лесных массивах. Собранных насекомых фиксировали в 70–75%-ном этаноле [10], а повреждения, инициированные этими фитофагами, – гербаризировали [11].

**Основная часть.** По результатам выполненных исследований был установлен состав сформировавшихся в условиях Беларуси комплексов инвазивных видов Hemipteroidea, повреждающих декоративные лиственные и хвойные древесно-кустарниковые растения, а также характер наносимых повреждений. В табл. 1 приводится информация о кормовых растениях, повреждающих их инвазивных фитофагах и характере наносимых повреждений.

Таблица 1

**Видовой состав инвазивных фитофагов надотряда Hemipteroidea  
и характер повреждений ими декоративных деревьев и кустарников в условиях Беларуси**

| Древесные растения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Фитофаги и характер наносимых ими повреждений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Боярышник однопестичный ( <i>Crataegus monogyna</i> Jacq.) и другие представители рода <i>Crataegus</i> L.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <i>Aphis spiraecola</i> Patch – зеленая цитрусовая тля. Колонизация фитофагами ведет к сильному ослаблению и угнетению растений, потере пластических веществ, нарушению и остановке роста побегов; переносчик многих вирусных заболеваний растений                                                                                                                                                                                         |
| Кизильник блестящий ( <i>Cotoneaster lucidus</i> Schldt.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Спирей:<br>белая ( <i>Spiraea alba</i> Du Roi)<br>иволистная ( <i>Spiraea salicifolia</i> L.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <i>Aphis spiraephaga</i> F. P. Müller – черная таволговая тля. Колонизация приводит к легкой деформации листовых пластинок; побеги замедляют рост; переносчик вирусных заболеваний растений.<br><i>Brachycaudus spiraeae</i> Börner – таволговая желтая листовая тля. Листья подвергаются скручиванию, образуя узкие трубчатые открытые галлы; побеги искривляются; декоративные свойства утрачиваются до следующего вегетационного сезона |
| Спирей:<br>белая ( <i>Spiraea alba</i> Du Roi)<br>иволистная ( <i>Spiraea salicifolia</i> L.)<br>острозубчатая ( <i>Spiraea × arguta</i> Zbl.)<br>зверобоелистная ( <i>Spiraea hypericifolia</i> L.)<br>Вангутта ( <i>Spiraea × vanhouttei</i> (Briot.) Zbl.)<br>ферганская ( <i>Spiraea ferganensis</i> Pojark.)<br>дубравколистная ( <i>Spiraea chamaedryfolia</i> L.)<br>японская ( <i>Spiraea japonica</i> L.)<br>трехлопостная ( <i>Spiraea trilobata</i> L.) | <i>Aphis spiraecola</i> Patch – зеленая цитрусовая тля. Колонизация фитофагами ведет к сильному ослаблению и угнетению растений; потере пластических веществ; нарушению и остановке роста побегов; переносчик многих вирусных заболеваний растений                                                                                                                                                                                         |

Продолжение табл. 1

| Древесные растения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Фитофаги и характер наносимых ими повреждений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дуб пушистый ( <i>Quercus pubescens</i> Willd.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <i>Myzocallis komareki</i> Pašek. Тли потребляют пластические вещества и продуцируют падь, на которой развиваются сажистые и / или дрожжевые грибы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Бирючина обыкновенная ( <i>Ligustrum vulgare</i> L.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <i>Myzus ligustri</i> (Mosl.) – бирючинная тля. Тли иницируют деформацию листьев и вершин растущих побегов; наблюдается остановка роста или отмирание точек роста, хлороз и некроз поврежденных участков; переносчик вирусных заболеваний растений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Караганы:<br>древовидная, или акация желтая ( <i>Caragana arborescens</i> Lam.)<br>кустарниковая, или чилига ( <i>Caragana frutex</i> (L.) С. Koch)<br>колючая ( <i>Caragana spinosa</i> (L.) DC.)<br>оранжевая ( <i>Caragana aurantica</i> Koehne)<br>бескорая ( <i>Caragana decorticans</i> Hemsl.)<br>туркестанская ( <i>Caragana turkestanica</i> Kom.) | <i>Therioaphis tenera</i> Aiz. – желтая (прыгающая) караганная тля. При высокой численности насекомые продуцируют большое количество медвяной росы, служащей субстратом для массового развития дрожжевых или (реже) сажистых грибов.<br><i>Acyrtosiphon caraganae</i> (Chol.) – большая акациевая тля. Основной фактор потери растениями декоративности – массовое развитие на падевых выделениях сажистых и дрожжевых грибов.<br><i>Aphis craccivora</i> Koch – люцерновая тля. При массовом размножении насекомые продуцируют большое количество пади, которая выступает в качестве субстрата для развития сажистых грибов; побеги замедляют и прекращают рост; переносчик вирусных заболеваний растений                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Робиния обыкновенная ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <i>Aphis craccivora</i> Koch – люцерновая тля. При массовом размножении насекомые продуцируют большое количество пади, которая выступает в качестве субстрата для развития сажистых грибов; побеги замедляют и прекращают рост; переносчик вирусных заболеваний растений.<br><i>Appendiseta robiniae</i> (Gill.) – белоакациевая листовая тля. При повреждении растения теряют значительное количество пластических веществ; листья преждевременно желтеют и опадают                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Жимолость татарская ( <i>Lonicera tatarica</i> L.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <i>Hyadaphis tataricae</i> Aiz. – верхушечная жимолостная тля. При интенсивном заселении побегов отмирают их терминальные точки роста, что ведет к отращиванию многочисленных вторичных побегов, имеющих уродливую форму и неестественную окраску (от желтоватой, хлоротичной до красноватой и красно-коричневой); в местах питания насекомых развиваются характерные хлоротичные пятна.<br><i>Brachycorynella lonicerina</i> Shap. – зеленая жимолостная тля. Тли локализуются на верхней стороне листовых пластинок молодых ветвей и побегов; их питание ведет к складыванию листьев продольно, они обесцвечиваются или приобретают фиолетовый оттенок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Тополя:<br>лавролиственный ( <i>Populus laurifolia</i> Ledeb.)<br>душистый ( <i>Populus suaveolens</i> Fisch.)<br>калифорнийский ( <i>Populus trichocarpa</i> Torr & A. Gray)<br>московский ( <i>Populus × moskoviensis</i> Schroed.)<br>длиннолистный ( <i>Populus longifolia</i> Fisch.)<br>бальзамический ( <i>Populus balsamifera</i> L.)               | <i>Pemphigus borealis</i> Tullg. – пемфиг дальневосточный. Тли иницируют формирование у основания молодых (однолетних) побегов эллипсовидных, мешковидной формы, несколько сдавленных с боков галлов; интенсивно колонизированные побеги прекращают рост и зачастую отмирают в течение последующего зимнего сезона.<br><i>Stictocephala bisonia</i> Kopp & Yonke – цикадка-буйвол. Наносит механические повреждения декоративным культурам при яйцекладке; особо опасны при массовом размножении                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Тополь пирамидальный ( <i>Populus pyramidalis</i> Borkh.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <i>Pemphigus immunis</i> Buckt. – пемфиг Лихтенштейна. Тли иницируют формирование крупных, шаровидных (до 3 см в диаметре), с трещиноватой неровной поверхностью толстостенных одиночных галлов на побегах текущего года; поврежденные побеги отстают в росте, листья на них остаются недоразвитыми, преждевременно желтеют и опадают.<br><i>Pemphigus spyrothecae</i> Pass. – поздний спиральногалловый пемфиг. Тли иницируют формирование на черешках листьев характерной формы спирально-шаровидных или спирально-веретеновидных, с толстыми стенками закрытых галлов, имеющих светло-зеленую, иногда – красноватую окраску.<br><i>Pemphigus passeki</i> Böm. – пемфиг Пашека. Тли иницируют формирование на верхней стороне у основания листовых пластинок вдоль центральной жилки удлинённых, расширенных в базальной части галлов.<br><i>Stictocephala bisonia</i> Kopp & Yonke – цикадка-буйвол. Наносит механические повреждения декоративным культурам при яйцекладке. Особо опасны при массовом размножении |

Окончание табл. 1

| Древесные растения                                                                                                          | Фитофаги и характер наносимых ими повреждений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вяз:<br>малый ( <i>Ulmus minor</i> Mill.)<br>шершавый ( <i>Ulmus scabra</i> Mill.)<br>приземистый ( <i>Ulmus pumila</i> L.) | <i>Tinocallis saltans</i> (Nev.) – прыгающая вязовая тля. Тли продуцируют значительное количество медвяной росы, которая загрязняет листовые пластинки, а также почву и объекты, расположенные под кронами вязов; падь выступает в качестве субстрата для развития сажистых грибов, развитие которых скрывается на декоративных качествах растений.<br><i>Stictocephala bisonia</i> Kopp & Yonke – цикадка-буйвол. Наносит механические повреждения декоративным культурам при яйцекладке; особо опасны при массовом размножении                                                                                                                                              |
| Клен ложноплатановый, или явор ( <i>Acer pseudoplatanus</i> L.)                                                             | <i>Drepanosiphum platanoidis</i> (Schm.) – большая яворовая тля. При большой численности насекомые продуцирует много медвяной росы (пади), на которой, как правило, развиваются сажистые и дрожжевые грибы, тем самым изменяя декоративные свойства растений.<br><i>Periphyllus acericola</i> Walk. – яворовый перифилл. Тли при питании поглощают значительное количество питательных веществ; колонизированные побеги сильно отстают в росте, листья приобретают бледную окраску                                                                                                                                                                                            |
| Бук:<br>лесной ( <i>Fagus sylvatica</i> L.)<br>крупнолистный ( <i>Fagus grandifolia</i> Ehrh.)                              | <i>Phyllaphis fagi</i> L. – буковая тля. При интенсивном заселении тлями побеги замедляют рост, искривляются, а листовые пластинки деформируются (свертываются в продольные трубки верхней стороной наружу); декоративность поврежденных растений дополнительно снижается еще за счет того, что колонии тлей обильно укрыты восковыми хлопьями; на их падевых выделениях развиваются сажистые грибы                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Дуб красный, или северный ( <i>Quercus rubra</i> L.)                                                                        | <i>Myzocallis walshii</i> Monell. Тли при вспышках массового размножения продуцируют много пади, которая служит субстратом для развития сажистых грибов; в местах питания фитофагов образуются хлоротичные пятна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Розы ( <i>Rosa hort.</i> cv.)                                                                                               | <i>Aphis gossypii</i> Glov. – бахчевая, или хлопковая тля. Тли потребляют пластические вещества; их питание вызывает гофрированность листьев, деформацию стеблей; поврежденные растения отстают в росте, ухудшается их физиологическое состояние; переносчик более 50 вирусов растений.<br><i>Stictocephala bisonia</i> Kopp & Yonke – цикадка-буйвол. Наносит механические повреждения декоративным культурам при яйцекладке. Особо опасны при массовом размножении                                                                                                                                                                                                          |
| Катальпы:<br>бигониевидная ( <i>Catalpa bignonioides</i> Walt.)<br>великолепная ( <i>Catalpa speciosa</i> Ward.)            | <i>Aphis catalpa</i> Mat. – катальповая тля. Колонии темноокрашенных насекомых хорошо заметны на листьях катальпы; фитофаги потребляют значительные количества пластических веществ и продуцируют падь, на которой развиваются сажистые грибы, что ведет к дальнейшей утрате растениями декоративности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Самшит вечнозеленый ( <i>Buxus sempervirens</i> L.)                                                                         | <i>Psylla buxi</i> L. – самшитовая листовлошка. Псиллиды вызывают деформацию верхушечных листьев растущих побегов самшита, в результате чего они сворачиваются и, налегая друг на друга передними краями, образуют округлый галл; на главных жилках таких листьев с внутренней стороны и питаются личинки и нимфы; в процессе галлообразования листья обезвоживаются и становятся жесткими, а нижняя сторона, которая оказывается на наружной поверхности галла, желтеет; листья, образующие галлы, не опадают.<br><i>Pinnaspis buxi</i> (Bouché) – самшитовая запятовидная щитовка. Насекомые размещаются на побегах самшита, их питание ведет к потере пластических веществ |
| Сирени ( <i>Syringa</i> spp.)                                                                                               | <i>Iguttetix oculata</i> (Lindb.) – сиреневая цикадка. Питание личинок и имаго приводит к появлению хлоротичных участков, что имеет следствием ощутимое снижение декоративных свойств растений.<br><i>Stictocephala bisonia</i> Kopp & Yonke – цикадка-буйвол. Наносит механические повреждения декоративным культурам при яйцекладке. Особо опасны при массовом размножении.<br><i>Dendrothrips ornatus</i> (Jablonowski) – липовый трипс. Питание насекомых приводит к появлению обесцвеченных пятен на листовых пластинках, что ведет к потере растениями эстетических качеств                                                                                             |

Таблица 2

**Видовой состав инвазивных фитофагов надотряда Hemipteroidea  
и характер повреждений ими хвойных деревьев  
и кустарников в условиях Беларуси**

| Древесные растения                                                                                                                                                                                                                                                  | Фитофаги и характер наносимых ими повреждений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ели:<br>голубая ( <i>Picea pungens</i> Englm.)<br>Шренка ( <i>Picea schrenkiana</i> ssp. <i>tianschanica</i> (Rupr.)<br>Вуков.)<br>ситхинская ( <i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carriere)                                                                           | <i>Elatobium abietinum</i> Walk. – игловая тля. Повреждает хвоинки, на которых вскоре развиваются желто-зеленые пятна, затем они приобретают коричневый цвет и преждевременно осыпаются; сильно поврежденные побеги на следующий год засыхают                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ель сибирская ( <i>Picea obovata</i> Ledeb.)                                                                                                                                                                                                                        | <i>Adelges laricis</i> Vallot – ранний елово-лиственничный хермес. Насекомые инициируют формирование у основания побегов широкоовальных или широкояйцевидных, размером с лесной орех галлов с видоизмененными и торчащими вершинами хвоинок, хорошо заметных стороннему наблюдателю                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Лиственницы:<br>сибирская ( <i>Larix sibirica</i> Ledeb.)<br>европейская ( <i>Larix decidua</i> Mill.)<br>польская ( <i>Larix polonica</i> Racib.)<br>Сукачева ( <i>Larix sukaczewii</i> (Dylis) Cheng & Fu)<br>Кемпфера ( <i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carriere) | <i>Adelges laricis</i> Vallot – ранний елово-лиственничный хермес. Насекомые инициируют сгибание хвоинок и их пожелтение; на хвоинках размещаются под белым пушком светло-зеленые особи.<br><i>Adelges (Cholodkovskya) viridana</i> (Chol.) – лиственничный хермес. Насекомые повреждают стволы и ветви, вызывая их усиленное шелушение и аномальное растрескивание коры; деревья приобретают вид стареющих, с желтоватой короткой хвоей, уменьшенным в высоту приростом и сильной сбегистостью ствола.<br><i>Cinara laricis</i> Hart. – большая лиственничная тля. Тли потребляют пластические вещества; на падевых выделениях развиваются сажистые грибы.<br><i>Cinara cuneomaculata</i> Guerc. – серо-бурая лиственничная тля. Тли потребляют пластические вещества; на падевых выделениях развиваются сажистые грибы |
| Сосны:<br>крымская ( <i>Pinus pallasiana</i> Lamb.)<br>Коха ( <i>Pinus kochiana</i> Klotzch.)<br>черная ( <i>Pinus nigra</i> Arn.)<br>румелийская ( <i>Pinus pence</i> Gris.)<br>горная ( <i>Pinus mugo</i> Turra)                                                  | <i>Eulachnus rileyi</i> Williams. В результате питания тлей хвоинки приобретают хлоротичные участки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Сосна Веймутова ( <i>Pinus strobus</i> L.)                                                                                                                                                                                                                          | <i>Pineus strobi</i> Hart. – хермес веймутовой сосны. Наличие насекомых выявляет присутствие на стволах сосен белого ватообразного воскового налета; питание фитофагов вызывает хлоротизацию и укорочение хвои, а также смолотечение ветвей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Туя западная ( <i>Thuja occidentalis</i> L.)                                                                                                                                                                                                                        | <i>Cinara cupressi</i> Buckt. – туевая тля. В результате питания фитофагов на побегах они в дальнейшем утрачивают естественную окраску; при высокой численности тлей и за счет массового развития сажистых грибов растения утрачивают декоративность; переносчик вирусных болезней растений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Туи ( <i>Thuja</i> spp.)                                                                                                                                                                                                                                            | <i>Parthenolecanium fletcheri</i> (Cockerell) – туевая ложнощитовка. Заселение фитофагом приводит к угнетению и ослаблению растений; интенсивная колонизация побегов ведет к их усыханию                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Можжевельники ( <i>Juniperus</i> spp.)                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Тсуги ( <i>Tsuga</i> spp.)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Таким образом, в составе комплекса инвазивных сосущих насекомых-фитофагов – вредителей декоративных лиственных древесно-кустарниковых пород констатируется 27 видов гемиптероидных насекомых, в числе которых 22 вида тлей (Aphidoidea), 2 вида цикадовых (Fulgoroidea и Cicadelloidea), 1 вид кокцид (Coccoidea), 1 вид псиллид, или листоблошек (Psylloidea), и 1 вид бахромчатокрылых насекомых, или трипсов (Thripidoidea). Некоторые представители – *A. gossypii*, *A. craccivora*, *A. spiraeicola*, *A. spiraeophaga*, *M. ligustri* – являются переносчиками ряда вирусных заболеваний растений.

Из представленных выше инвазивных видов гемиптероидных насекомых – вредителей декоративных лиственных деревьев и кустарников 7 видов-инвайдеров – *A. spiraeicola*, *A. craccivora*, *D. platanoidis*, *H. tataricae*, *P. spyrothecae*, *P. buxi*, *Ph. fagi* – включены в «Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси» [12].

Помимо сложившихся в условиях Беларуси на декоративных лиственных деревьях и кустарниках комплексов инвазивных видов гемиптероидных насекомых, может быть выделен еще один комплекс – фитофагов хвойных пород. В табл. 2 приводится краткая информация о кормовых растениях, видах-инвайдерах и характере наносимых ими повреждений.

Таким образом, в условиях Беларуси декоративные хвойные породы повреждаются 9 инва-

зивными видами грудохоботных насекомых из числа настоящих тлей (Aphidoidea), хермесов (Phylloxeroidea) и кокцид (Coccoidea). Среди перечисленных в табл. 2 7 видов – *C. laricis*, *C. cu-neomaculata*, *E. rileyi*, *E. abietinum*, *C. cupressi*, *P. strobi* и *P. fletcheri* – характеризуются локальным распространением и имеют ограниченную вредоносность, тогда как 2 вида – *A. laricis*, *A. (Ch.) viridana*, – вредят как в декоративных зеленых насаждениях, так и лесопосадках.

**Заключение.** По результатам выполненных исследований можно констатировать, что в условиях зеленых насаждений Беларуси декоративные лиственные и хвойные древесно-кустарниковые породы повреждаются 36 инвазивными видами гемиптероидных насекомых. В частности, в качестве вредителей декоративных лиственных деревьев и кустарников выступают 27 инвазивных видов сосущих насекомых-фитофагов, в числе которых 22 вида тлей (Aphidoidea), 2 вида цикадовых (Fulgoroidea и Cicadelloidea) и по одному виду кокцид (Coccoidea), псиллид, или листоблошек (Psylloidea), и бахромчатокрылых насекомых, или трипсов (Thripidoidea). В числе вредителей хвойных декоративных древесных растений – 9 инвазивных видов гемиптероидных насекомых, в числе которых 5 видов настоящих тлей (Aphidoidea), 3 вида хермесов (Phylloxeroidea) и 1 вид кокцид (Coccoidea).

### Литература

1. Семенченко В. П., Пугачевский А. В. Проблема чужеродных видов в фауне и флоре Беларуси // Наука и инновации. 2006. Т. 44, № 10. С. 15–20.
2. Жоров Д. Г. Инвазивные виды гемиптероидных насекомых (Insecta: Hemipteroidea) Беларуси (таксономический состав, экологические группы, географическое распространение, биологические основы вредоносности): автореф. дис ... канд. биол. наук: 03.02.05 / Белорусский государственный университет. Минск, 2017. 25 с.
3. Рупайс А. А. Вредители деревьев и кустарников в зеленых насаждениях Латвийской ССР. Рига: Зинатне, 1981. 264 с.
4. Келдыш М. П., Помазков Ю. И. Вирусные и микоплазменные болезни древесных растений. М.: Наука, 1985. 134 с.
5. Emden V. H. F., Harrington R. Aphids as Crop Pest. Wallingford, UK, Cambridge, MA: CABI, 2007. 717 p.
6. Теоретические проблемы и результаты комплексного географического районирования территории Беларуси / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Выбранные научные работы БГУ. Минск, 2001. С. 333–356.
7. Юркевич И. Д., Голод Д. С., Адериho В. С. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование. Минск: Наука и техника, 1979. 248 с.
8. Мельник В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: автореф. дис ... канд. геогр. наук: 25.00.23 / Белорусский государственный университет. Минск, 2004. 21 с.
9. Нестерович Н. Д. Интродукционные районы и древесные растения для зеленого строительства в Белорусской ССР. Минск: Наука и техника, 1982. 111 с.
10. Жоров Д. Г., Буга С. В. Тли (Aphidoidea) интродуцированных растений: методические рекомендации по определению. Минск: БГУ, 2017. 32 с.
11. Гельтман Д. В. Гербарное дело. Справочное руководство. Кью: Королевский ботанический сад, 1995. 356 с.
12. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / А. В. Алехнович [и др.]; под общ. ред. В. П. Семенченко. Минск: Беларуская навука, 2016. 105 с.

## References

1. Semenchenko V. P., Pugachevsky A. V. The problem of alien species in the fauna and flora of Belarus. *Nauka i inovatsii* [Science and Innovations], 2006, vol. 44, no. 10, pp. 15–20 (In Russian).
2. Zhorov D. G. *Invazivnyye vidy gemipteroidnykh nasekomykh (Insecta: Hemipteroidea) Belarusi (taksonomicheskiy sostav, ekologicheskiye gruppy, geograficheskoye rasprostraneniye, biologicheskiye osnovy vredonosnosti. Avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Invasive species of hemipteroid insects (Insecta: Hemipteroidea) of Belarus (taxonomic structure, ecological groups, geographical distribution, biological basis of harmfulness). Abstract of thesis cand. of agricult. sci.]. Minsk, 2017, 25 p.
3. Rupais A. A. *Vrediteli derev'yev i kustarnikov v zelenykh nasazhdeniyakh Latvyskoy SSR* [Pests of trees and shrubs in green stands of the Latvian SSR]. Riga, Zinatne Publ., 1981. 264 p.
4. Keldysh M. P., Pomazkov Yu. I. *Virusnyye i mikoplazmennyye bolezni drevesnykh rasteniy* [Virus and mycoplasmal diseases of woody plants]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 134 p.
5. Emden V. H. F., Harrington R. Aphids as Crop Pest. Wallingford, UK, Cambridge, MA, CABI, 2007. 717 p.
6. Martsinkevich G. I., Klitsunova N. K., Schastnaya I. I., Yakushko O. F. [The theoretical problems and results of complex geographical zoning of the territory of Belarus]. *Vybranyye navukovyia pratsy BDU* [Selected scientific works of BSU]. Minsk, 2001, pp. 333–356 (In Russian).
7. Yurkevich I. D., Golod D. S., Aderikho V. S. *Rastitel'nost' Belorussii, yeye kartografirovaniye, okhrana i ispol'zovaniye* [Vegetation of Belarus, its mapping, protection and use]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 248 p.
8. Mel'nik V. I. *Vliyaniye izmeneniya klimata na agroklimaticheskiye resursy i produktivnost' osnovnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur Belarusi. Avtoref. dis. kand. geogr. nauk* [Impact of climate change on agro-climatic resources and productivity of the main crops of Belarus. Abstract of thesis cand. of geograph. sci.]. Minsk, 2004. 21 p.
9. Nesterovich N. D. *Introduktsionnyye rayony i drevesnyye rasteniya dlya zelenogo stroitel'stva v Belorusskoy SSR* [Introduction areas and woody plants for gardening in the Belarusian SSR]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 111 p.
10. Zhorov D. G., Buga S. V. *Tli (Aphidoidea) introdutsirovannykh rasteniy: metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu* [Aphids (Aphidoidea) of introduced plants: handbook for identification]. Minsk, BGU Publ., 2017. 32 p.
11. Geltman D. V. *Gerbarnoye delo. Spravochnoye rukovodstvo* [The herbarium handbook. Revised edition]. K'yū, Korolevskiy botanicheskiy sad Publ., 1995. 356 p.
12. Alekhovich A. V., Buga S. V., Drobenkov S. M., Zhorov D. G., Makarenko A. I., Petrov D. L., Rizevskiy V. K., Roginskiy A. S., Rybkina T. N., Sautkin F. V., Semenchenko V. P., Sinchuk O. V., Yanuta G. G. *Chernaya kniga invazivnykh vidov zhivotnykh Belarusi* [Black book of invasive animal species of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2016. 105 p.

## Информация об авторах

**Жоров Дмитрий Георгиевич** – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: zhorovdg@mail.ru

**Буга Сергей Владимирович** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: sergey.buga@gmail.com

## Information about the authors

**Zhorov Dmitry Georgievich** – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Zoology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zhorovdg@mail.ru

**Buga Sergey Vladimirovich** – DSc (Biology), Professor, Head of the Department of Zoology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergey.buga@gmail.com

Поступила 25.10.2018

УДК 630\*4

**В. В. Усень, Н. С. Блинова**

Институт леса Национальной академии наук Беларуси

**ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОСТИ ВЕРШИННОГО (*IPS ACUMINATUS GYLL.*)  
И ШЕСТИЗУБЧАТОГО (*IPS SEXDENTATUS BOERN.*) КОРОЕДОВ  
В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРОМОННЫХ ПРЕПАРАТОВ**

Приведены результаты феромонного мониторинга шестизубчатого и вершинного короедов с использованием барьерных ловушек и агрегационных феромонных препаратов «ИПСВАБОЛ Ш» и «ИПСВАБОЛ В» в лесном фонде Гомельского ГПЛХО. Для оценки количества стволовых вредителей применялись критерии численности короедов в феромонных ловушках, разработанные ГНУ «Институт леса НАН Беларуси».

Выявлена высокая (более 2000 экземпляров на 1 ловушку) и очень высокая (свыше 3000 экземпляров на 1 ловушку) численность вершинного короеда в сосновых насаждениях Гомельского, Петриковского и Лоевского лесхозов. Высокая численность шестизубчатого короеда (более 300 экземпляров на 1 ловушку) отмечена в сосновых насаждениях Лоевского и Гомельского лесхозов.

Результаты феромонного надзора за вершинным и шестизубчатым короедами, в соответствии с данными учета первого поколения вредителей, свидетельствуют о их высокой численности в сосновых насаждениях Гомельского ГПЛХО и угрозе возникновения новых очагов короедов, что требует проведения дальнейшего детального лесопатологического надзора в данных насаждениях с последующим выполнением в них санитарно-оздоровительных мероприятий.

**Ключевые слова:** сосновые насаждения, феромонный мониторинг, вершинный и шестизубчатый короеды, оценка численности.

**V. V. Usenya, N. S. Blinova**

Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus

**ASSESSMENT OF THE NUMBER OF THE SHARP-DENTATED BARK BEETLE  
(*IPS ACUMINATUS GYLL.*) AND THE PINE TREE BEETLE (*IPS SEXDENTATUS BOERN.*)  
IN PINE PLANTATIONS WITH THE USE OF PHEROMONE PREPARATIONS**

Results of pheromone monitoring of the pine tree beetle and the sharp-dentated bark beetle with the use of barrier traps and aggregation pheromone preparations IPSVABOL Sh and IPSVABOL V are given. In the forest fund of Gomel SPFI. The criteria of the number of bark beetles in pheromone traps, which were developed by the SSI Institute of Forest of the NAS of Belarus, were applied to make assessment of the number of borers.

The number of the sharp-dentated bark beetle in pine plantations of Gomel, Petrikov and Loyev forestries is high (more than 2000 per 1 trap) and very high (over 3000 per 1 trap). The high number of the pine tree beetle (more than 300 per 1 trap) is noted in pine plantations of Loyev and Gomel forestries.

The results of pheromone supervision of the sharp-dentated bark beetle and the pine tree beetle, according to the data of counting of the first generation of borers, show their high number in pine plantations in Gomel SPFI and the threat of emergence of new centers of bark beetles, which requires carrying out further detailed forest pathology supervision in these plantations with the subsequent carrying out sanitary and improving actions.

**Key words:** pine plantations, pheromone monitoring, the sharp-dentated bark beetle and the pine tree beetle, number assessment.

**Введение.** В течение последних лет в лесном фонде Беларуси наблюдается усыхание сосновых насаждений. По данным ГУ «Беллесазащита», общая площадь хвойных насаждений, потребовавших проведения сплошных санитарных рубок, в 2017 г. составила 29 319 га. Наибольшие объемы усыхания сосновых лесов отмечены в южных регионах республики. Причиной ослабления сосновых насаждений является комплекс стрессовых абиотических и био-

логических факторов, основной из которых – изменение климата. Повышение температуры воздуха и снижение уровня грунтовых вод на протяжении последних лет являются первопричиной нарушения экологического равновесия и снижения биологической устойчивости сосновых лесов, особенно в южной части страны. Ослаблению сосняков способствовали также масштабные ветровалы и буреломы, лесные пожары, повреждение насаждений насекомыми.

ми-дефолиантами, корневыми гнилями, в особенности наличие значительных площадей хронически ослабленных сосновых лесов заболеванием «корневая губка», рубки леса, несвоевременное выявление очагов стволовых вредителей из-за трудности определения признаков их заселения на деревьях.

В результате воздействия негативных абиотических и биотических факторов снижается энтомоустойчивость древесных пород и создаются оптимальные условия для массового размножения стволовых вредителей, способных заселять, приводя к гибели, вполне жизнеспособные деревья и вызывать в некоторых случаях полное разрушение древостоя.

В биологически ослабленных сосновых лесах Беларуси отмечается ежегодное увеличение и распространение очагов вершинного и шестизубчатого короедов.

Составной частью лесопатологического мониторинга в лесном фонде является феромонный надзор. Результаты феромонного надзора совместно с материалами других видов лесопатологического мониторинга используются для оценки и прогноза лесопатологической ситуации.

Для надзора за вершинным и шестизубчатым короедами в лесном фонде Беларуси применяются отечественные агрегационные феромонные препараты «ИПСВАБОЛ В» и «ИПСВАБОЛ Ш». Препараты и методы их применения разработаны совместно Белорусским государственным университетом и ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» [1, 2].

В научно-исследовательской лаборатории элементоорганического синтеза БГУ налажено промышленное производство феромонных препаратов по заявкам лесхозов Министерства лесного хозяйства и других юридических лиц, ведущих лесное хозяйство.

**Основная часть.** Институтом леса в 2017 г. проведен феромонный мониторинг шестизубчатого и вершинного короедов в лесном фонде Долголесского лесничества Гомельского лесхоза; Грабовского, Залесского, Рубчанского и Петриковского лесничества Петриковского лесхоза; Приднепровского лесничества Лоевского лесхоза; Полесского и Светлогорского лесничества Светлогорского лесхоза.

Подбор участков сосновых насаждений для мониторинга вершинного и шестизубчатого короедов, распределение феромонных препаратов и ловушек осуществлялись инженерами-лесопатологами лесхозов и лесничими.

Для мониторинга использовались ловушки барьерного типа производства ГУ «Беллесащита». Основной способ крепления ловушек на П-образной опоре, допускалось так-

же крепление на Г-образной опоре, наклонно вбитых кольях, перекладине между двумя усохшими деревьями, а также на листовых ветвях, кроме растущих деревьев березы и осины, оказывающих отпугивающее действие на короедов.

В Петриковском лесхозе во всех лесничествах ловушки устанавливались работниками лесничеств самостоятельно, в основном на вырубках, вдоль стен леса. В качестве опытной апробации для препятствия выползания жуков из приемника ловушки барьерного типа использовался энтомологический клей, который наносился на нижний край конуса ловушки или на внутреннюю поверхность стакана, используемого в качестве приемника ловушки.

При проведении учетов короедов выявлен недостаток применения энтомологического клея – стекание клея на дно стакана под воздействием солнечных лучей, что приводило к затруднению учета из-за заливания клеем насекомых, особенно при их большой численности.

В Долголесском лесничестве Гомельского лесхоза и Приднепровском лесничестве Лоевского лесхоза ловушки выставлялись совместно с инженером-лесопатологом, работником лесничества и сотрудниками Института леса на вырубках, вдоль стены леса; в куртинах усыхания сосновых насаждений; на полянах; в усыхающих насаждениях, назначенных в сплошную санитарную рубку.

Ловушки, снабженные феромоном, размещались в лесных насаждениях до начала лета короедов (до 25 апреля). В приемник ловушки наливали подсоленную воду для исключения выползания жуков.

В ГЛХУ «Петриковский лесхоз» и «Светлогорский лесхоз» учет насекомых осуществлялся в полевых условиях сотрудниками Института леса совместно с инженером-лесопатологом лесхоза, в присутствии работника лесничества. В Долголесском лесничестве ГЛХУ «Гомельский лесхоз» и Приднепровском лесничестве ГЛХУ «Лоевский лесхоз» сбор насекомых осуществлялся в присутствии инженера-лесопатолога и лесничего. Анализ содержимого приемников ловушек и учет короедов осуществлялся сотрудниками лаборатории проблем восстановления, защиты и охраны лесов ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» в лабораторных условиях.

Для оценки численности вредителя результаты их учета сравнивались с ориентировочными критериями для оценки численности короедов в феромонных ловушках, разработанными ГНУ «Институт леса НАН Беларуси», согласно которым количество отловленных жу-

ков I поколения за весь период наблюдений (III декада апреля – III декада мая):

– для *вершинного короеда* – 3001 экз. и более на 1 ловушку – очень высокая численность; 1001–3000 экз. – высокая; 301–1000 экз. – повышенная; 151–300 – средняя, 51–150 низкая; менее 50 – очень низкая;

– для *шестиизубчатого короеда* – 301 экз. и более на 1 ловушку – высокая численность; 151–300 экз. – повышенная; 101–150 экз. – средняя; 51–100 экз. – низкая; менее 50 – очень низкая [3].

Результаты феромонного мониторинга первого поколения шестиизубчатого короеда в лесхозах Гомельского ГПЛХО приведены в табл. 1.

Таблица 1  
**Показатели численности первого поколения шестиизубчатого короеда в сосновых насаждениях лесхозов Гомельского ГПЛХО**

| Лесхоз,<br>лесничество      | Кол-во<br>лову-<br>шек | Отловлено жуков<br>короеда, экз. |                        |                          |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|
|                             |                        | все-<br>го                       | max<br>шт./ло<br>вушку | min<br>шт./ ло-<br>вушку |
| ГЛХУ «Петриковский лесхоз»  |                        |                                  |                        |                          |
| Грабовское                  | 10                     | 835                              | 332                    | 10                       |
| Рубчанское                  | 9                      | 125                              | 46                     | 3                        |
| ГЛХУ «Гомельский лесхоз»    |                        |                                  |                        |                          |
| Долголесское                | 20                     | 3057                             | 490                    | 44                       |
| ГЛХУ «Лоевский лесхоз»      |                        |                                  |                        |                          |
| Приднестровское             | 13                     | 3939                             | 868                    | 46                       |
| ГЛХУ «Светлогорский лесхоз» |                        |                                  |                        |                          |
| Полесское                   | 1                      | 26                               | —                      | —                        |
| Светлогорское               | 1                      | 78                               | —                      | —                        |

Согласно ориентировочным критериям для оценки численности короедов в феромонных ловушках высокая численность шестиизубчатого короеда (332 экз./ловушку) выявлена в сосновых насаждениях Грабовского лесничества Петриковского лесхоза и Долголесского лесничества Гомельского лесхоза (432 и 490 экз. короеда на 1 ловушку, соответственно).

Полученные результаты феромонного надзора свидетельствуют о том, что сложная лесопатологическая ситуация по численности шестиизубчатого короеда наблюдается в сосновых насаждениях Приднестровского лесничества Лоевского лесхоза. Количество отловленных жуков короеда I поколения за весь период наблюдений (III декада апреля – III декада мая) составило 3939 экз. На ряде участков сосновых насаждений выявлено наличие высокой численности вредителя.

Максимальное количество жуков шестиизубчатого короеда на 1 ловушку отловлено в квартале 29 (выдел 3) – 868 шт. В соответствии с ориентировочными критериями оценки численности короедов в феромонных ловушках «высокая» численность короеда выявлена в квартале 40 (выдел 1 и выдел 2) – 329 шт. и 369 шт. на 1 ловушку соответственно, квартале 41 (выдел 3) – 643 экз. Повышенная численность шестиизубчатого короеда отмечена в квартале 12 (выдел 17) – 247 шт./ловушку и в квартале 8 (выдел 2) – 270 шт./ловушку (табл. 2).

По результатам феромонного мониторинга первого поколения вершинного короеда в лесхозах Гомельского ГПЛХО в сосновых насаждениях Петриковского и Рубчанского лесничеств ГЛХУ «Петриковский лесхоз» выявлена высокая (более 2000 экз./ловушку) и очень высокая (4830 экз./ловушку) численность вершинного короеда (табл. 3).

Таблица 2  
**Результаты феромонного надзора шестиизубчатого короеда в сосновых насаждениях Приднестровского лесничества Лоевского лесхоза**

| Номер квартала | Номер выдела | Состав | Возраст, лет | Полнота | Тип леса | Численность жуков на 1 ловушку по выделу, шт. |
|----------------|--------------|--------|--------------|---------|----------|-----------------------------------------------|
| 29             | 3            | 10С    | 50           | 1,0     | С. ор.   | 868 (высокая)                                 |
| 28             | 28           | 10С    | 50           | 0,8     | С. мш.   | 46                                            |
| 40             | 1            | 10С    | 40           | 0,6     | С. ор.   | 329 (высокая)                                 |
| 40             | 2            | 10С    | 40           | 0,6     | С. ор.   | 369 (высокая)                                 |
| 41             | 3            | 10С    | 45           | 1,0     | С. ор.   | 643 (высокая)                                 |
| 13             | 1            | 10С    | 40           | 0,8     | С. мш.   | 133                                           |
| 12             | 17           | 10С    | 40           | 0,8     | С. мш.   | 247 (повышенная)                              |
| 8              | 2            | 9С1Б   | 55           | 0,6     | С. ор.   | 270 (повышенная)                              |
| 7              | 46           | 10С    | 50           | 0,9     | С. мш.   | 77                                            |
|                | 30           | 10С    | 50           | 0,9     | С. мш.   | 67                                            |

Таблица 3

**Показатели численности первого поколения вершинного короеда  
в сосновых насаждениях лесхозов Гомельского ГПЛХО**

| Лесхоз, лесничество         | Кол-во<br>ловушек | Отловлено жуков короеда, экз. |                   |                    |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------|
|                             |                   | всего                         | max (шт./ловушку) | min (шт./ ловушку) |
| ГЛХУ «Петриковский лесхоз»  |                   |                               |                   |                    |
| Залесское                   | 8                 | 1198                          | 474               | 10                 |
| Рубчанское                  | 1                 | 4830                          | 4830              | —                  |
| Петриковское                | 15                | 13077                         | 2212              | 103                |
| ГЛХУ «Гомельский лесхоз»    |                   |                               |                   |                    |
| Долголесское                | 15                | 43681                         | 7141              | 607                |
| ГЛХУ «Лоевский лесхоз»      |                   |                               |                   |                    |
| Приднепровское              | 7                 | 9280                          | 3851              | 359                |
| ГЛХУ «Светлогорский лесхоз» |                   |                               |                   |                    |
| Полесское                   | 1                 | 189                           | —                 | —                  |

В Долголесском лесничестве Гомельского лесхоза за период III декада апреля – III декада мая отловлено 43 681 жуков вершинного и 3057 шестизубчатого короедов. Результаты феромонного надзора за вершинным короедом в Долголесском лесничестве Гомельского лесхоза показали наличие очень высокой численности вредителя в 13-м и 15-м кварталах (6798 и 7141 экз./ловушку, соответственно) (табл. 4). В кварталах 27, 11, 25, 5 численность жуков на 1 ловушку по выделу составила свыше 3000 шт., что, согласно ориентировочным критериям оценки численности короеда в феромонных ловушках, соответствует очень высокой численности.

Высокая численность вредителя выявлена также в кварталах 7 и 1 – 2203 и 2559 шт. короедов соответственно. На всех участках сосновых насаждений, на которых выявлена высокая и очень высокая численность вре-

дителя, проведены сплошные санитарные рубки.

Результаты феромонного мониторинга свидетельствуют о том, что на отдельных участках выявлены комплексные очаги вершинного и шестизубчатого короедов.

Так, в квартале 25 Долголесского лесничества количество отловленных особей шестизубчатого короеда составило 490 шт./ловушку, вершинного – 3561 шт./ловушку; квартале 11: шестизубчатого – 432 шт./ловушку, вершинного короеда – 3818 шт./ловушку.

В Приднепровском лесничестве Лоевского лесхоза высокая численность обоих вредителей обнаружена в сосновых насаждениях в квартале 29, в которых отловлено жуков вершинного короеда – 1642 шт./ловушку, шестизубчатого – 868 шт./ловушку; квартале 40 – вершинного короеда – 2187 шт./ловушку, шестизубчатого – 329 шт./ловушку.

Таблица 4

**Результаты феромонного надзора за вершинным короедом  
в сосновых насаждениях Долголесского лесничества Гомельского лесхоза**

| Номер квартала | Номер выдела | Состав | Возраст, лет | Полнота | Тип леса | Численность жуков на 1 ловушку по выделу, шт. |
|----------------|--------------|--------|--------------|---------|----------|-----------------------------------------------|
| 67             | 2            | 9С1Б   | 30           | 0,4     | С. чер.  | 944 (повышенная)                              |
|                | 3            | 8С2Б   | 65           | 0,6     | С. ор.   | 607 (повышенная)                              |
| 27             | 10           | 10С    | 110          | 0,3     | С. мш.   | 1252 (повышенная)                             |
|                | 9            | 10С    | 85           | 0,6     | С. чер.  | 3037 (очень высокая)                          |
| 34             | 5            | 10С    | 110          | 0,6     | С. мш.   | 722 (повышенная)                              |
| 11             | 2            | 10С    | 55           | 0,9     | С. мш.   | 3818 (очень высокая)                          |
| 25             | 1            | 10С    | 55           | 0,9     | С. мш.   | 3561 (очень высокая)                          |
| 20             | 8            | 10С    | 65           | 0,7     | С. мш.   | 1615 (высокая)                                |
| 13             | 8            | 10С    | 55           | 0,8     | С. мш.   | 6798 (очень высокая)                          |
| 5              | 15           | 10С    | 110          | 0,6     | С. мш.   | 3194 (очень высокая)                          |
| 15             | 7            | 9С1Б   | 115          | 0,7     | С. чер.  | 7141 (очень высокая)                          |
| 7              | 2            | 10С    | 55           | 0,7     | С. мш.   | 2203 (высокая)                                |
| 1              | 7            | 10С    | 55           | 0,9     | С. мш.   | 2559 (высокая)                                |

**Заключение.** Проведенный мониторинг численности шестиизубчатого и вершинного короедов в сосновых насаждениях свидетельствует о том, что феромонные препараты «ИП-СВАБОЛ В» и ИПСВАБОЛ Ш» обладают высокой аттрактивной способностью.

Результаты феромонного мониторинга первого поколения вершинного и шестиизубчатого короедов свидетельствуют об их высокой численности в сосновых насаждениях в лесном фонде Гомельского ГПЛХО и угрозе возникновения новых очагов вредителей, что требует

проведения дальнейшего детального лесопатологического надзора в данных насаждениях с последующим проведением в них санитарно-оздоровительных мероприятий.

Работникам лесхозов и лесничеств необходимо оперативно контролировать лесопатологическую ситуацию в лесном фонде с целью своевременного выявления очагов стволовых вредителей в сосновых насаждениях и проведения в них санитарно-оздоровительных мероприятий.

### Литература

1. Создание синтетических феромонных препаратов для мониторинга численности шестиизубчатого и вершинного короедов в сосновых насаждениях Беларуси / Н. С. Блинова [и др.] // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Вып. 72. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2012. С. 431–437.
2. Усеня В. В., Блинова Н. С. Феромонный надзор стволовых вредителей с сосновых насаждениях // Лесное и охотничье хоз-во. 2017. № 7. С. 14–19.
3. Рекомендации по применению феромонов для контроля за численностью вершинного и шестиизубчатого короедов: утв. 06.02.2018. // Лесное и охотничье хоз-во. 2018. № 2. С. 3–6.

### References

1. Blinova N. S., Matyushenkov E. A., Masalov N. V., Kovalenko V. N., Usanova E. N. Creation of synthetic pheromone preparations for monitoring of the number of the pine tree beetle and the sharp-dentated bark beetle in pine plantations of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of Silviculture and Forestry], Gomel', 2012, vol. 72, pp. 431–437 (In Russian).
2. Usenya V. V., Blinova N. S. Pheromone supervision of borers in pine plantations. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2017, no. 7, pp. 14–19 (In Russian).
3. Recommendations on application of pheromones for control of the number of the pine tree beetle and the sharp-dentated bark beetle. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2018, no. 2, pp. 3–6 (In Russian).

### Информация об авторах

**Усеня Владимир Владимирович** – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

**Блинова Наталья Сергеевна** – научный сотрудник лаборатории проблем восстановления, защиты и охраны лесов. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: zachita-lesa@rambler.ru

### Information about the authors

**Usenya Vladimir Vladimirovich** – Corresponding Member of the National Academy Sciences of Belarus, DSc (Agriculture), Professor, Deputy Director for Scientific Work. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (246001, Gomel', Proletarskaya str., 71, Republic of Belarus). E-mail: usenyaforinst@gmail.com

**Blinova Natal'ya Sergeevna** – Researcher, the Laboratory of Problems of Renewal, Protection and Forest Conservation. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (246001, Gomel', Proletarskaya str., 71, Republic of Belarus). E-mail: zachita-lesa@rambler.ru

Поступила 03.05.2018

# ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

---

УДК 630\*83:674.8

Е. А. Леонов<sup>1</sup>, Д. В. Клоков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАПАСОВ СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ КРУГЛОГODOVОГО СПРОСА НА ЩЕПУ

В статье приведены исследования потоков древесного топлива в условиях предприятий лесного комплекса Беларуси, которые характеризуются месячными коэффициентами неравномерности поставки и сжигания соответственно. Определены параметры законов распределения данных случайных величин. Разработана методика по обоснованию оптимальных запасов древесного топлива, которая базируется на применении теории массового обслуживания. Представленная модель рассматривается как система «поставщик (транспортное средство) – склад древесного топлива с ограниченной относительной вместимостью – потребитель (котельная или мини-ТЭЦ)». Для такой системы входящим потоком является непрерывный поток древесного сырья (топлива), поступающего на площадку склада с интенсивностью, а выходящим потоком – непрерывный поток древесного топлива, поступающий на мини-ТЭЦ (котельную) с интенсивностью. Разработанная методика позволяет на стадии проектирования энергообъекта (котельной или мини-ТЭЦ) деревообрабатывающего предприятия прогнозировать оптимальную относительную вместимость склада древесного топлива в условиях круглогодичного спроса на щепу.

**Ключевые слова:** модель, склад, щепы, вероятность, параметры.

Е. А. Leonov<sup>1</sup>, D. V. Klovov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University

## OPTIMIZATION OF RAW MATERIAL RESERVES IN THE CONDITIONS OF THE YEAR-ROUND DEMAND FOR THE WOOD CHIPS

The article presents research of wood fuel flows in the conditions of enterprises of the Belarusian forest complex, which are characterized by monthly coefficients of unevenness of supply and combustion, respectively. The parameters of the laws of the distribution of random variables are determined. A technique has been developed to justify the optimal reserves of wood fuel, which is based on the application of queuing theory. The presented model is considered as a system “supplier (vehicle) – wood fuel warehouse with limited relative capacity – consumer (boiler or mini-CHP)”. For such a system, the incoming flow is a continuous flow of wood raw materials (fuel) entering the storage site with intensity, and the outflow is a continuous stream of wood fuel entering the mini-cogeneration plant (boiler) with intensity. The developed technique allows at the stage of designing an energy facility (boiler or mini-CHP) of a woodworking enterprise to predict the optimum relative capacity of a wood fuel storage facility in conditions of year-round demand for wood chips.

**Key words:** model, storage, wood chips, probability, parameters.

**Введение.** Правительством Республики Беларусь приняты ряд государственных программ, которые стимулируют развитие энергетики на местных (возобновляемых) видах топлива (МВТ). В этой связи в стране ежегодно наращиваются объемы производства топливной щепы, в том числе из низкокачественной древесины, отходов лесозаготовок и деревообработки. По итогам 2016 г. производственные мощ-

ности предприятий системы Минлесхоза Республики Беларусь (основных поставщиков древесного топлива на энергообъекты) составили 5785,7 тыс. м<sup>3</sup> древесного топлива, в том числе 1745,8 тыс. м<sup>3</sup> топливной щепы.

В Республике Беларусь диверсификация производства тепловой и электрической энергии за счет вовлечения в производство местных видов топлива обеспечивается работой более

3000 котельных мощностью от 0,012 до 20 МВт, а также свыше 20 мини-ТЭЦ мощностью от 1,2 до 18 МВт, функционирующих в различных министерствах и ведомствах.

Производственный опыт работы энергетических объектов Министерства энергетики и Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь в различных регионах страны выявил неравномерность между динамикой месячных объемов поставки и потребления древесного сырья. Так, заготовка и поставка древесного топлива наиболее интенсивно производится в зимний и летний периоды, в то время как потребление топлива носит сезонный характер (пик потребления приходится на зимний период (рис. 1–2) [1–7].

Для оценки функционирования площадок древесного топлива предприятий, имеющих различные производственные мощности, в наших исследованиях был введен коэффициент неравномерности, который показывает, как отличается объем производства за конкретный ( $i$ -тый) интервал по сравнению со среднеинтервальным. Он равен частному от деления фактического (планируемого) объема производства в течение выделенного интервала времени на среднеинтервальный объем производства за исследуемый период:

$$K(t_i) = \frac{V(t_i)}{V_{cp}} = \frac{V(t_i)}{\frac{V_{об}}{n}} = \frac{n \cdot V(t_i)}{\sum_{i=1}^n V(t_i)}, \quad (1)$$

где  $V(t_i)$  – фактический объем производства за  $i$ -тый месяц (в тысячах плотных кубических метрах), тыс. пл. м<sup>3</sup>;  $V_{cp}$  – среднеинтервальный объем производства за весь период работы, тыс. пл. м<sup>3</sup>;  $n$  – число интервалов, составляющих исследуемый период,  $i=1, n$ ;  $V_{об}$  – общий объем производства за весь период работы, тыс. пл. м<sup>3</sup>.

Такой подход позволяет в относительных величинах (безразмерных) через коэффициенты неравномерности определять максимальные и минимальные величины объемов операций за принятый интервал, а также следить за динамикой изменения значений  $K(t_i)$  во времени.

На основании полученных экспериментальных данных потоков древесного топлива и их статистической обработки установлено [3–7]:

- среднемесячная интенсивность поставки древесного топлива изменяется в течение года по нормальному закону с параметрами  $K$  и  $\sigma^2$  и для каждого поставщика индивидуальна (рис. 1);
- среднемесячная интенсивность потребления древесного топлива различными котельными и мини-ТЭЦ изменяется в течение года по периодическому закону и в зависимости от сезона года носит достаточно устойчивый характер (рис. 2).

Оценка расхождения между статистическим (эмпирическим) распределением проверялась по критериям согласия. Расхождение эмпирических и теоретических распределений не менее чем в 95% случаев подтвердилось критериями Пирсона и Колмогорова [4–6].

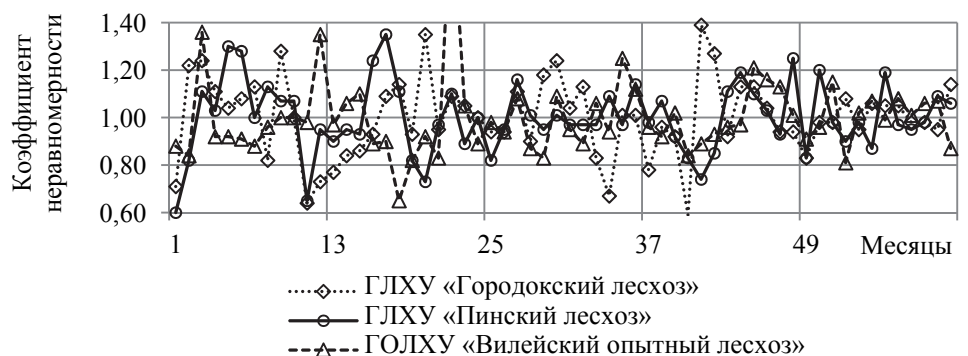


Рис. 1. Динамика неравномерности поставки древесного топлива (на примере нескольких поставщиков)

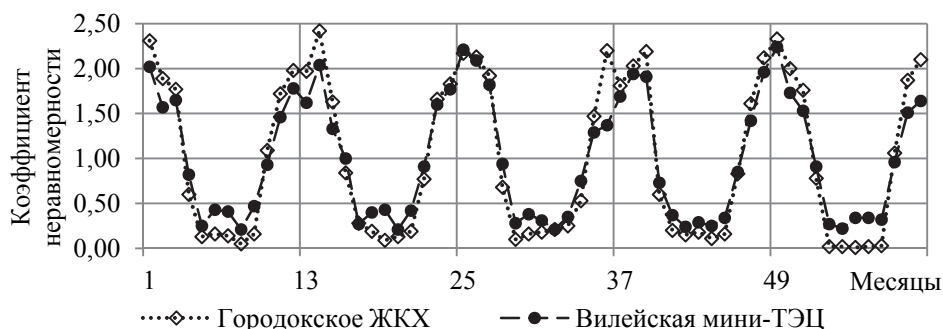


Рис. 2. Динамика неравномерности потребления древесного топлива (на примере нескольких потребителей)

Система поставок древесного топлива должна предусматривать меры, позволяющие устранить (минимизировать) предполагаемые и непредвиденные нарушения процесса поставки. С этой целью заготовленная и вывезенная в летний сезон топливная древесина частично либо полностью укладывается в запас, который используется в период осенне-весенней распутицы, в выходные и праздничные дни и т. д. Обоснование вместимости склада древесного топлива со случайным объемом поступления биомассы и ее последующей отгрузки на котельную или мини-ТЭЦ в условиях сезонности спроса рассматривалось в [5–7].

Имеющиеся сегодня рекомендации по обоснованию рациональных площадок для хранения топливной древесины не учитывают в полной мере особенности функционирования мини-ТЭЦ, созданных или создаваемых в условиях производственной деятельности предприятий «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности» Республики Беларусь (рис. 3).

Отличительным аспектом работы мини-ТЭЦ, входящих в структуру предприятий «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности», является утилизация образующихся в процессе производственной деятельности древесных отходов с целью получения энергии на собственные технологические нужды (сушильное хозяйство, плитное производство и т. д.) [8–11]. При этом в отличие от мини-ТЭЦ системы Минэнерго и МинЖКХ данные энергообъекты характеризуются устойчивым в течение года спросом на древесное топливо [12–15].

С учетом вышеизложенного методика теоретических исследований включала в себя следующие этапы:

– выявление закономерностей функционирования площадки древесного топлива с учетом колебаний месячных объемов поставок то-

пливной древесины на мини-ТЭЦ и отсутствия сезонного характера ее сжигания;

– компьютерное имитационное моделирование устойчивого функционирования площадки древесного топлива в условиях круглогодичного спроса на топливную древесину со стороны мини-ТЭЦ деревообрабатывающих предприятий.

**Обоснование вместимости площадок хранения древесного топлива в условиях круглогодичного спроса.** На основании полученных и обработанных экспериментальных данных о потоках древесного топлива в условиях круглогодичного спроса на щепу установлено, что среднемесячные интенсивности поставки и потребления древесного топлива изменяются в течение года по нормальному закону с параметрами  $K$  и  $\sigma^2$ . При этом для каждого деревообрабатывающего предприятия «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности» данные параметры индивидуальны.

В процессе имитационного моделирования площадка для хранения древесного топлива рассматривалась как система «поставщик (транспортное средство) – склад топливной древесины с ограниченной относительной вместимостью  $W_{\text{отн}}$  – мини-ТЭЦ». Для такой системы входящим потоком является непрерывный поток древесного топлива, поступающего на склад с интенсивностью  $K_{\text{п}}$  в месяц, а выходящим потоком – непрерывный поток топлива, поступающий на мини-ТЭЦ с интенсивностью  $K_{\text{с}}$  в месяц.

Объем древесного топлива на складе ( $Z_{\text{скл}}$ ) меняется случайно во времени в пределах от 0 до относительной вместимости склада  $W_{\text{отн}}$ :

$$Z_{\text{скл}} = \sum_{i=1}^{\infty} (K_i^{\text{п}} - K_i^{\text{с}}), \quad (2)$$

где  $K_i^{\text{п}}$  и  $K_i^{\text{с}}$  – коэффициенты неравномерности, соответственно, поставки и сжигания древесного топлива в  $i$ -том месяце.

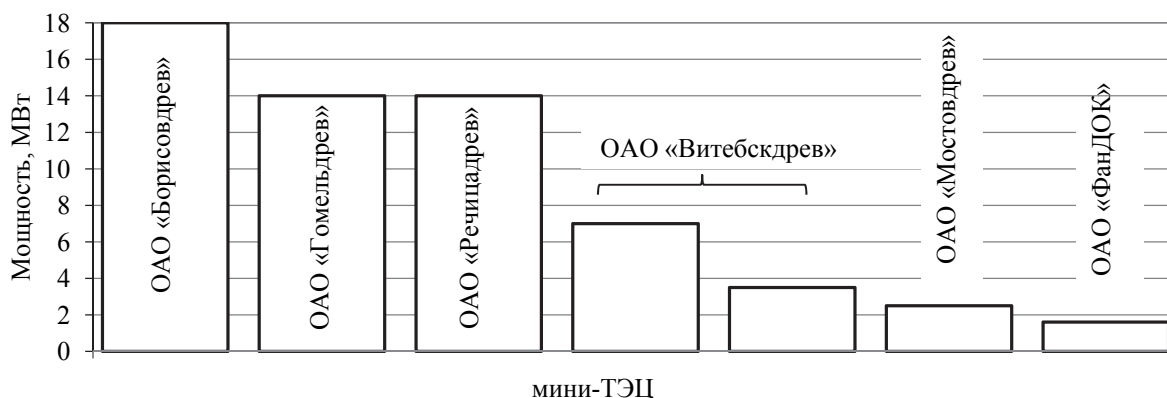


Рис. 3. Крупнейшие мини-ТЭЦ предприятий «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности» Республики Беларусь

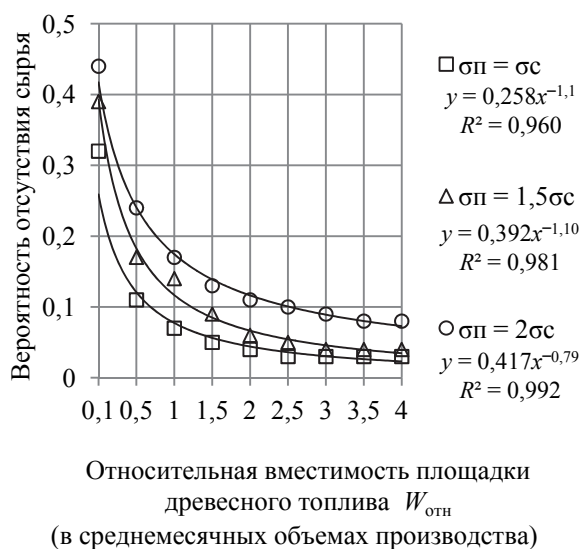


Рис. 4. Зависимость вероятности отсутствия сырья на площадке древесного топлива от величины ее относительной вместимости

Математическая модель строилась при допущении, что переходы состояний площадки древесного топлива осуществляются в фиксированные моменты времени мгновенно (система с дискретными состояниями и непрерывным временем).

Основываясь на вышеизложенном, для оценки влияния относительной вместимости площадки древесного топлива на вероятности ее переполнения и отсутствия на ней сырья в течение года (т. е. обеспечение устойчивой работы мини-ТЭЦ) авторами разработаны соответствующий алгоритм [5–7, 10] и программа расчета в пакете MATHCAD 14, основными этапами которой являются:

- последовательное вычисление разности между случайными значениями коэффициентов неравномерности поставки и потребления топливной древесины, генерируемые в соответствии с установленными законами распределения (нормальный закон с параметрами  $K$  и  $\sigma^2$ );

- суммирование полученных данных так, чтобы их сумма не переходила границы площадки древесного топлива (от 0 до  $W_{\text{отн}}$ );

- фиксирование случаев, при которых запас древесины был равным этим предельным границам и условно мог их превзойти;

- частное от деления количества таких случаев на общее число реализаций (вероятности отсутствия древесного топлива на площадке или ее переполнения) фиксируется программой и выводится на экран.

В качестве примера с учетом различных соотношений между отклонениями в поставке ( $\sigma_{\text{п}}$ ) и сжигании ( $\sigma_{\text{с}}$ ) топливной древесины на

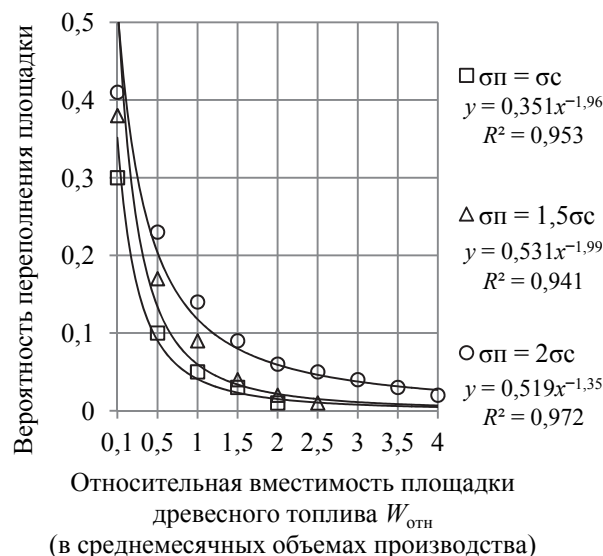


Рис. 5. Зависимость вероятности переполнения площадки древесного топлива от величины ее относительной вместимости

основании имитационного моделирования рассчитаны вероятности отсутствия древесного сырья на складе ( $P_{\text{отс}}$ ) и его переполнение ( $P_{\text{пер}}$ ) в зависимости от относительной вместимости площадки древесного топлива ( $W_{\text{отн}}$ ). Для получения результата с достоверностью 0,99 произведен расчет необходимого числа итераций. Число повторов для каждого значения составило 1200. Результаты расчетов представлены графически на рис. 4, 5.

Как видно из графиков, вероятности переполнения площадки древесного топлива ( $P_{\text{пер}}$ ) и отсутствия сырья на ней ( $P_{\text{отс}}$ ) резко снижаются с ростом ее относительной вместимости до 1,5–2,5-среднемесячных объемов производства. Оптимальное значение вместимости склада будет соответствовать минимуму удельных приведенных затрат непосредственно по складу древесного топлива, смежным операциям, от потерь и т. д.

**Закключение.** С учетом проведенных теоретических исследований функционирования площадки древесного топлива в условиях круглогодичного спроса на щепу можно сделать ряд выводов:

- неравномерность поставок и потребления древесного топлива на мини-ТЭЦ приводят к снижению загрузки машин и оборудования, потерям рабочего времени и т. д.;

- характер протекания поставки и потребления древесного топлива внутри года индивидуален для каждого предприятия, поэтому требует знания численных параметров фазовых работ конкретных предприятий;

- показателем, совокупно учитывающим влияние основных факторов на величину ме-

сячных объемов поставки и потребления древесного топлива, может быть коэффициент неравномерности  $K(t_i)$ ;

– при относительно постоянных условиях функционирования предприятий достоверные данные можно подучить на основании пяти последних лет работы;

– вероятности переполнения площадки древесного топлива и отсутствия сырья на ней резко

снижаются с ростом ее относительной вместимости до 1,5–2,5-среднемесячных объемов производства;

– оптимальное значение вместимости площадки древесного топлива соответствует минимуму удельных приведенных затрат непосредственно по складу древесного топлива, смежным операциям, от потерь древесного вещества при хранении и т. д.

### Литература

1. Леонов Е. А., Федоренчик А. С. Оптимизация вместимости склада межсезонного хранения древесного топлива // Труды III Междунар. евразийского симпози. «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века». 2008. С. 62–66.
2. Леонов Е. А. Исследование хранения древесного топлива у потребителей // Труды БГТУ. Сер. 2, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 89–93.
3. Леонов Е. А. Модель склада древесного топлива // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 135–139.
4. Кулак М. И., Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Прогнозирование хранения запасов топлива в условиях лесозаготовительных терминалов // Наука и инновации. 2012. № 7. С. 69–72.
5. Леонов Е. А., Федоренчик А. С. Имитационное моделирование устойчивого функционирования склада древесного топлива // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 58–61.
6. Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Лесозаготовительные терминалы: оптимизация параметров // Лесное и охотничье хоз-во. 2012. № 9. С. 10–15.
7. Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Обеспечение устойчивого снабжения энергообъектов древесным топливом с созданием минимально необходимых запасов // Лесной вестник. 2014. № S2. С. 146–150.
8. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5–4. С. 291–295.
9. Леонов Е. А., Игнатенко В. В., Клоков Д. В. Математическая модель работы рубильной машины с учетом ее технических отказов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 40–44.
10. Леонов Е. А. Устойчивое снабжение энергообъектов древесным топливом с созданием минимально необходимых запасов // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 17–19.
11. Клоков Д. В., Леонов Е. А., Турлай И. В. Модель работы форвардера с учетом надежности // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 23–26.
12. Клоков Д. В., Турлай И. В., Леонов Е. А. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 200 с.
13. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум / А. С. Федоренчик [и др.]. Минск: БГТУ, 2014. 274 с.
14. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум. Минск: БГТУ, 2015. 212 с.
15. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Минск: БГТУ, 2016. 204 с.

### References

1. Leonov E. A., Fedorenchik A. S. Optimization of the storage capacity of the off-season storage of wood fuel. *Trudy III Mezhdunar. evraziyskogo simpoziuma («Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka»)* [Proceedings of III International The Eurasian Symposium («Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI of century»)], 2008, pp. 62–66 (In Russian).
2. Leonov E. A. Research of storage of wood fuel from consumers. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 2, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 89–93 (In Russian).
3. Leonov E. A. Model of wood fuel storage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 135–139 (In Russian).
4. Kulak M. I., Fedorenchik A. S., Leonov E. A. Forecasting the storage of fuel reserves in the context of forest energy terminals. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation], 2012, no. 7, pp. 69–72 (In Russian).

5. Leonov E. A., Fedorenchik A. S. Simulation modeling of sustainable functioning of wood fuel storage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 58–61 (In Russian).
6. Fedorenchik A. S., Leonov E. A. Forest energy terminals: optimization of parameters. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and Hunting], 2012, no. 9, pp. 10–15 (In Russian).
7. Fedorenchik A. S., Leonov E. A. Ensuring sustainable supply of energy facilities with wood fuel with the creation of the minimum required reserves. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2014, no. S2, pp. 146–150 (In Russian).
8. Ignatenko V. V., Leonov E. A. Establishment of rational parameters of multi-operation machines in the timber industry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 5–4, pp. 291–295 (In Russian).
9. Leonov E. A., Ignatenko V. V., Klovov D. V. The mathematical model of chipper work given its technical failures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 40–44 (In Russian).
10. Leonov E. A. Sustainable supply of wood fuel energy facilities with the establishment of minimum required reserves. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 17–19 (In Russian).
11. Klovov D. V., Leonov E. A., Turlay I. V. Model of forwarder work in respect of reliability. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 23–26 (In Russian).
12. Klovov D. V., Turlay I. V., Leonov E. A. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Laboratornyy praktikum* [Equipment timber companies. Laboratory practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 200 p.
13. Fedorenchik A. S., Mokhov S. P., Klovov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya. Praktikum* [Technology and equipment for the integrated use of wood raw material. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 274 p.
14. Fedorenchik A. S., Klovov D. V., Leonov E. A. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnoy biomassy. Praktikum* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 212 p.
15. Fedorenchik A. S., Klovov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesechnykh i lesoskladskikh rabot* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 204 p.

#### Информация об авторах

**Леонов Евгений Анатольевич** – 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: debager13@rambler.ru

**Клоков Дмитрий Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика машиностроительного профиля». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: klokov\_dm@belstu.by

#### Information about the authors

**Leonov Evgeniy Anatol'yevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: debager13@rambler.ru

**Klovov Dmitriy Viktorovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Y. Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klokov\_dm@mail.ru

Поступила 28.02.2018

УДК 630\*83:674.8

**Е. А. Леонов<sup>1</sup>, Д. В. Клоков<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет**ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ  
НА ЛЕСОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕРМИНАЛАХ  
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

В статье рассмотрены актуальные вопросы производства древесного топлива из дровяной и низкокачественной древесины в условиях лесоэнергетических терминалов мини-ТЭЦ деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь. Особенностью данных энергетических объектов является выработка тепловой энергии на собственные технологические нужды, а также равномерный в течение года спрос на топливную щепу. С целью повышения теплотворной способности сжигаемого древесного сырья даны рекомендации по обустройству площадки терминала, особенностям складирования и хранения древесины. Разработана технологическая схема производства топливной щепы на терминалах мини-ТЭЦ деревообрабатывающих предприятий. Ее особенностью является совместное размещение на территории терминала штабелей неизмельченного дровяного долготья и огороженного бурта для топливной щепы и отходов деревообрабатывающего производства (кусковые древесные отходы, опилки, отсев и т. д.). Все операции технологической цепочки производства древесного топлива выполняются мобильной системой машин отечественного производства.

**Ключевые слова:** производство, параметры, терминал, древесное топливо, система машин.

**E. A. Leonov<sup>1</sup>, D. V. Klovov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Belarusian National Technical University**FUEL CHIPS PRODUCTION AT THE WOOD-ENERGY TERMINALS  
OF WOOD PROCESSING ENTERPRISES**

The article deals with topical issues of wood fuel production from wood and low-quality wood in the conditions of forest-energy terminals of mini-CHP of woodworking enterprises of the Republic of Belarus. The peculiarity of these energy facilities is heat energy production for their own technological needs and uniform demand for fuel chips during the year. In order to increase the calorific value of the burnt wood raw material, recommendations have been made on arranging the terminal site, on the specific features of wood storage. The technological scheme of fuel chips production at the terminals of mini-CHP of woodworking enterprises has been developed. Its peculiarity is the joint placement in the terminal area of stacks of not crushed wood longest and fenced collar for fuel chips and waste woodworking production (lumpy wood waste, sawdust, screenings, etc.). All operations of the technological chain of production of wood fuel are performed by a mobile system of domestically produced machines.

**Key words:** production, parameters, terminal, wood fuel, machine system.

**Введение.** Устойчивое развитие Республики Беларусь не может быть достигнуто без диверсификации производства энергии с максимальным привлечением местных видов топлива, а также снижением удельного энергопотребления за счет ресурсосберегающих технологий [1–3]. В этой связи в нашей стране ежегодно наращиваются объемы производства топливной щепы, в том числе из низкокачественной древесины, отходов лесозаготовок и деревообработки. По итогам 2017 г. производственные мощности предприятий системы Минлесхоза Республики Беларусь (основных поставщиков древесного топлива на энергообъекты) составили 7,2 млн м<sup>3</sup> древесного топлива, в том числе 1,8 млн м<sup>3</sup> топливной щепы.

В настоящее время в ряде республиканских министерств и ведомств, а также на частных

предприятиях выработка тепловой и электрической энергии из местных видов топлива, включая различные типы древесной биомассы, осуществляется на 20 мини-ТЭЦ мощностью от 1,2 до 18 МВт, а также на более чем 3000 котельных мощностью от 0,012 до 20 МВт.

Производственный опыт показывает, что древесное сырье в виде дровяной и низкокачественной древесины и отходов для производства древесного топлива для энергетических целей может образовываться непосредственно на лесосеках, верхних и промежуточных складах, а также на терминалах сезонного хранения древесного топлива у потребителей [4]. Место концентрации древесного сырья для производства древесного топлива для энергетических целей (см. рис. 1) оказывает прямое влияние на технологию и механизацию работ, производительность машин и т. д. [5–8].

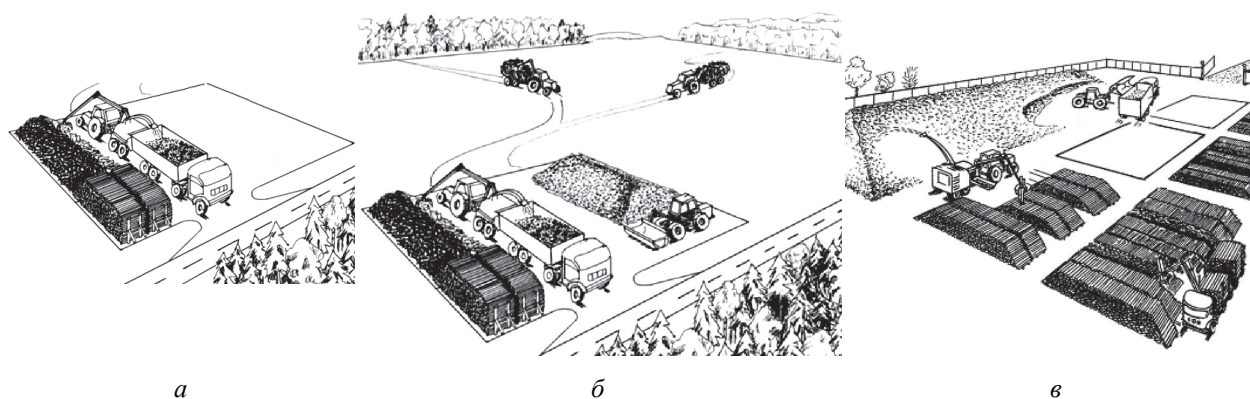


Рис. 1. Технологические схемы производства топливной щепы:  
а – на верхнем складе; б – промежуточном складе; в – терминале у потребителя

Отличительными особенностями рассматриваемых технологических процессов, при которых поставщиком древесного топлива является предприятие системы Министерства лесного хозяйства, а потребителем – предприятие системы Министерства энергетики или Министерства жилищно-коммунального хозяйства, являются неравномерный в течение года характер заготовки топливной древесины и ярко выраженный сезонный характер ее потребления [9–11].

В то же время в структуре предприятий «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности» функционирует ряд отраслевых мини-ТЭЦ, особенностью которых является получение энергии для собственных технологических нужд (сушильное хозяйство, плитное производство и т. д.) за счет сжигания древесных отходов, образующихся в процессе производственной деятельности деревообрабатывающих предприятий. При этом, в отличие от мини-ТЭЦ предприятий системы Минэнерго и МинЖКХ, данные энергетические объекты характеризуются устойчивым в течение года спросом на древесное топливо [12–14].

**1. Общие требования к площадке лесоэнергетического терминала.** Производственный опыт работы мини-ТЭЦ предприятий «Холдинга организаций деревообрабатываю-

щей промышленности» положительно решил вопрос о формах хранения древесного топлива в пользу открытого хранения измельченной древесины, так как современные технические средства (высокопроизводительные погрузчики, транспортировщики, дешевые нетканые пленочные покрытия, эффективные средства проветривания и огнезащиты и др.) позволяют успешно функционировать открытым терминалам древесного топлива при обеспечении минимальной стоимости капитальных вложений и работ по их обслуживанию.

По установившейся многолетней практике дровяное долготье целесообразно хранить в штабелях, а кусковые или мягкие отходы – в кучах. При этом исследования показали [12–15], что ствольную древесину, предназначенную для измельчения в топливную щепу, до самого измельчения целесообразно хранить в крупных штабелях, что не позволяет ей намокнуть во время осадков. В качестве примера на рис. 2 приведен лесоэнергетический терминал мини-ТЭЦ, на котором четко видны штабели основного запаса топлива (темный фон), хранящегося в виде круглой ствольной древесины (дровяное долготье), а также бурты топливной щепы (светлый фон), подготовленной для отгрузки на энергообъект (щепа производится в требуемом количестве по мере потребления).



Рис. 2. Лесоэнергетический терминал мини-ТЭЦ

Места для хранения древесного топлива должны иметь твердое покрытие (асфальтовое или бетонное) на достаточно прочном основании с тем, чтобы в процессе работы погрузчиков и рубильных машин не произошло продавливание почвы и образование колеи. Продольная ось штабелей (буртов), по возможности, должна быть направлена в сторону естественного стока ливневых вод. Уклон покрытия площадки в поперечном направлении в обе стороны от продольной оси штабеля (бурта) следует делать 8–10%, вдоль бурта в сторону стока – 1,5–2% [2, 4, 15].

При складировании сырья из свежесрубленной древесины с целью повышения ее теплотворной способности целесообразно установить следующие сроки его просушки перед измельчением:

- дровяной древесины с диаметром более 20 см – до 6–8 мес.;

- тонкомерной древесины и деревьев от рубок ухода – до 4–6 мес. [2, 4, 15].

**2. Технология производства топливной щепы в условиях деревообрабатывающего предприятия.** Для предприятий «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности» Республики Беларусь характерно производство топливной щепы на лесозенергетическом терминале около мини-ТЭЦ, на котором хранится технологический запас топлива на некоторый период работы энергообъекта. При этом расположенное на терминале энергетическое древесное топливо частично производится на месте из предварительно уложенного в штабели дровяного долготья, а часть поступает автотранспортом в виде кусковых и мягких отходов основного производства [12–14].

На рис. 3 показана возможная технологическая схема функционирования лесозенергетического терминала отраслевой мини-ТЭЦ, на которой производимая щепа (наряду с готовыми для сжигания отходами деревообрабатывающего производства, доставляемыми автотранспортом) накапливается и хранится на месте и по мере необходимости подается в расходные бункеры котлов.

Работа лесозенергетического терминала мини-ТЭЦ осуществляется в следующем порядке. Прибывающие с лесосек на площадку терминала сортиментовозы 1 осуществляют выгрузку дровяного долготья и укладку его в штабели временного хранения 6, располагаемые по периметру площадки измельченного древесного топлива 3. После предварительной атмосферной просушки (производится с целью повышения теплотворной способности древесного топлива) по мере необходимости дровяное долготье измельчается в топливную щепу передвижной рубильной машиной 4. Отсыпка производимой щепы осуществляется в огороженный бурт 3, откуда по мере потребления ковшовым лесопогрузчиком 5 древесное топливо загружается в расходные бункеры котлов 7 мини-ТЭЦ.

По мере образования на основных производственных участках и деревообрабатывающих цехах предприятия древесных отходов производства, пригодных для сжигания в котле мини-ТЭЦ (кусковые отходы, стружка, опилки, древесный отсев и т. д.), производится их сбор и доставка колесным лесопогрузчиком 5 на площадку терминала с последующей укладкой в огороженный бурт 3.

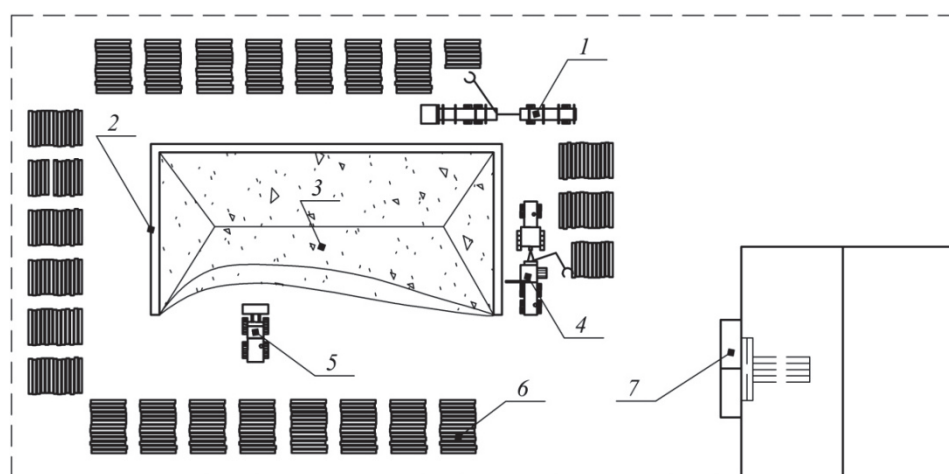


Рис. 3. Технологические схемы функционирования лесозенергетических терминалов мини-ТЭЦ деревообрабатывающих предприятий:  
1 – сортиментовоз; 2 – сплошной забор, загораживающий измельченное древесное топливо; 3 – бурт щепы и отходов производства (кусковых и мягких); 4 – передвижная рубильная машина; 5 – ковшовый лесопогрузчик; 6 – штабели дровяного долготья; 7 – расходные топливные бункеры котлов мини-ТЭЦ

В случае большей целесообразности измельчение доставленного сортиментовозами сырья может производиться непосредственно при подаче в рубильную машину с лесовозов, минуя стадию укладки в штабели (например, при доставке уже высушенного сырья, щепа из которого предназначена для прямой реализации, доставке сухих отходов лесопиления, щепа из которых снижает влажность общей реализуемой массы до требуемых показателей и т. п.).

Из перечня технических средств, используемых в технологической цепочке производства топливной щепы, на лесозаготовительном терминале деревообрабатывающего предприятия возможно использование стационарных или мобильных рубильных машин различного исполнения. Однако, ввиду того, что стационарные машины требуют оборудования для подготовки сырья (раскряжевки и раскалывания), наличия подающего транспортера, оборудования для эвакуации щепы и дополнительных затрат, связанных с их установкой (подготовка и заливка фундаментов и пр.), предпочтение следует отдать самоходным или пере-

движным рубильным машинам барабанного типа с гидроманипулятором для подачи сырья в переработку: импортного производства – Jenz HEM 420 DQ/DL, Foresteri C4560 LF и аналогичные им, а также отечественных – Амкодор 2904 ОАО «Амкодор», МР-40 и МР-100 ОАО «Минский тракторный завод». Для отгрузки и подачи древесного топлива на расходные топливные бункеры котлов целесообразно применять ковшовые погрузчики производства ОАО «Амкодор» типа Амкодор 342С4 или аналогичные им зарубежного производства [4, 8, 13–15].

**Заключение.** Производство древесного топлива из дровяной древесины и отходов, образующихся в процессе производственной деятельности деревообрабатывающих предприятий, входящих в структуру «Холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности», имеет ряд принципиальных особенностей. Приведенные в статье рекомендации по организации производства древесного топлива в условиях лесозаготовительных терминалов отраслевых мини-ТЭЦ направлены на совершенствование данного технологического процесса.

### Литература

1. Леонов Е. А. Модель склада древесного топлива // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 135–139.
2. Леонов Е. А. Исследование хранения древесного топлива у потребителей // Труды БГТУ. Сер. 2, Лесная и деревооб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 89–93.
3. Леонов Е. А., Федоренчик А. С. Оптимизация вместимости склада межсезонного хранения древесного топлива // Труды III Междунар. евразийского симпози. «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века». 2008. С. 62–66.
4. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум. Минск: БГТУ, 2015. 212 с.
5. Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Лесозаготовительные терминалы: оптимизация параметров // Лесное и охотничье хоз-во. 2012. № 9. С. 10–15.
6. Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Обеспечение устойчивого снабжения энергообъектов древесным топливом с созданием минимально необходимых запасов // Лесной вестник. 2014. № S2. С. 146–150.
7. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 4–5. С. 291–295.
8. Леонов Е. А., Игнатенко В. В., Клоков Д. В. Математическая модель работы рубильной машины с учетом ее технических отказов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 40–44.
9. Леонов Е. А., Федоренчик А. С. Имитационное моделирование устойчивого функционирования склада древесного топлива // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 58–61.
10. Кулак М. И., Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Прогнозирование хранения запасов топлива в условиях лесозаготовительных терминалов // Наука и инновации. 2012. № 7. С. 69–72.
11. Леонов Е. А. Устойчивое снабжение энергообъектов древесным топливом с созданием минимально необходимых запасов // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 17–19.
12. Леонов Е. А., Клоков Д. В. Технология лесозаготовок и переработки древесины. Минск: БГТУ, 2018. 231 с.
13. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум / А. С. Федоренчик [и др.]. Минск: БГТУ, 2014. 274 с.
14. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Минск: БГТУ, 2016. 204 с.
15. Клоков Д. В., Леонов Е. А., Гарабажиу А. А. Перспективы проектирования в Беларуси лесных складов на базе мобильных систем машин // Наука – образованию, производству, экономике. 2018. Т. 2. С. 134.

## References

1. Leonov E. A. Model of wood fuel storage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 135–139 (In Russian).
2. Leonov E. A. Research of storage of wood fuel from consumers. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 2, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 89–93 (In Russian).
3. Leonov E. A., Fedorenchik A. S. Optimization of the storage capacity of the off-season storage of wood fuel. *Trudy III Mezhdunar. evraziyskogo simpoziuma («Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka»)* [Proceedings of III International The Eurasian Symposium («Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI of century»)], 2008, pp. 62–66 (In Russian).
4. Fedorenchik A. S., Klovov D. V., Leonov E. A. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnoy biomassy. Praktikum* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 212 p.
5. Fedorenchik A. S., Leonov E. A. Forest energy terminals: optimization of parameters. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and Hunting], 2012, no. 9, pp. 10–15 (In Russian).
6. Fedorenchik A. S., Leonov E. A. Ensuring sustainable supply of energy facilities with wood fuel with the creation of the minimum required reserves. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2014, no. S2, pp. 146–150 (In Russian).
7. Ignatenko V. V., Leonov E. A. Establishment of rational parameters of multi-operation machines in the timber industry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 5–4, pp. 291–295 (In Russian).
8. Leonov E. A., Ignatenko V. V., Klovov D. V. The mathematical model of chipper work given its technical failures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 40–44 (In Russian).
9. Leonov E. A., Fedorenchik A. S. Simulation modeling of sustainable functioning of wood fuel storage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 58–61 (In Russian).
10. Kulak M. I., Fedorenchik A. S., Leonov E. A. Forecasting the storage of fuel reserves in the context of forest energy terminals. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation], 2012, no. 7, pp. 69–72 (In Russian).
11. Leonov E. A. Sustainable supply of wood fuel energy facilities with the establishment of minimum required reserves. *Trudy BGTU* [Proceedings BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 17–19 (In Russian).
12. Leonov E. A., Klovov D. V. *Tekhnologiya lesozagotovok i pererabotki drevesiny* [Wood technology and wood processing]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 231 p.
13. Fedorenchik A. S., Mokhov S. P., Klovov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya. Praktikum* [Technology and equipment for the integrated use of wood raw material. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 274 p.
14. Fedorenchik A. S., Klovov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesoskladskikh rabot* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 204 p.
15. Klovov D. V., Leonov E. A., Garabazhiu A. A. Prospects for designing in Belarus forest warehouses based on mobile machine systems. *Nauka – obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike* [Science – education, production, economy], 2018, vol. 2. P. 134 (In Russian).

## Информация об авторах

**Леонов Евгений Анатольевич** – 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: debager13@rambler.ru

**Клоков Дмитрий Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика машиностроительного профиля». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: klokov\_dm@belstu.by

## Information about the authors

**Leonov Evgeniy Anatol'yevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: debager13@rambler.ru

**Klovov Dmitriy Viktorovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Y. Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klokov\_dm@mail.ru

Поступила 28.02.2018

УДК 630\*363.7

**А. О. Германович**

Белорусский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНО-КОМПОНОВОЧНЫХ  
И ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ  
МОБИЛЬНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ «АМКОДОР 2904»**

На сегодняшний день рубильная машина, служащая для получения экологически чистого и возобновляемого вида топлива, является актуальным и перспективным биоэнергетическим оборудованием. Из перечня технических средств, используемых в цепочке производства топливной щепы, рубильная машина наиболее энергоемкая, сложная и дорогостоящая. Существует большое разнообразие конструктивных схем данных машин. Наиболее универсальной (имеет возможность работать как непосредственно на лесосеке, так и на лесном складе) является самоходная рубильная машина, обладающая рядом преимуществ. Работа мобильной рубильной машины состоит из повторяющегося цикла, который включает две наиболее затратные временные составляющие. Для анализа и моделирования работы мобильной рубильной машины необходимы корректные исходные данные. Одна из целей предварительных испытаний – определение основных технико-эксплуатационных и размерно-компоновочных показателей мобильной рубильной машины. Исследование динамических процессов, происходящих при работе рубильной машины на мобильном шасси с автономным двигателем, при помощи математической модели в условиях, максимально приближенных к реальным исходным данным, позволяет обосновать ее основные параметры (жесткость виброизолирующих элементов, шин и т. д.) и сделать вывод о соответствии этих параметров условиям работы.

**Ключевые слова:** биоэнергетика, испытания, рубильная машина, технико-эксплуатационные параметры, щепа.

**A. O. Hermanovich**

Belarusian State Technological University

**DETERMINATION OF DIMENSIONAL-COMPONENT  
AND TECHNICAL-OPERATIONAL PARAMETERS OF MOBILE CHIPPER  
MACHINES “AMKODOR 2904”**

To date, a chipper that serves to produce an environmentally friendly and renewable fuel is an actual and promising bioenergetic equipment. From the list of technical means used in the chain of production of fuel chips, the chipping machine is the most energy intensive, complex and expensive. There is a wide variety of design schemes for chippers. The most universal, as it has the ability to work both directly in the cutting area, and in the forest stock is a self-propelled chipper with several advantages. The work of the mobile chipping machine consists of a repeating cycle, which includes the two most expensive time components. To analyze and simulate the operation of the mobile chipping machine, correct initial data are necessary. One of the purposes of the preliminary tests is the determination of the main technical-operational and dimension-layout parameters of the mobile chipping machine. The investigation of the dynamic processes occurring during the operation of a chipping machine on a mobile chassis with an autonomous engine, with the help of a mathematical model provided that it is as close as possible to the actual initial data, allows us to substantiate its main parameters (rigidity of vibration isolating elements, tires, etc.) and conclude compliance of these parameters with working conditions.

**Key words:** bioenergetics, testing, chipper, technical and operational parameters, chips.

**Введение.** Мобильная рубильная машина, используемая в технологической цепочке получения биоэнергетического топлива, представляет сложную конструкцию взаимосвязанных между собой узлов и механизмов. Производство экологически чистого и возобновляемого топлива способствует расширению видов рубильных машин, что, в свою очередь, влияет на усовершенствование отдельных составляющих модулей данных машин. В процессе моделирования новых проектируемых рубильных ма-

шин немаловажным является владение актуальными технико-эксплуатационными и размерно-компоновочными показателями таких типов машин [1–4].

**Основная часть.** Одной из целей проведения исследовательских испытаний машины «Амкодор 2904» являлось определение основных параметров (рис. 1), входящих в исходные данные системы дифференциальных уравнений математической модели работы мобильной рубильной машины [1, 5].



Рис. 1. Определение параметров ходовой части мобильной рубильной машины:

*a* – определение радиальной деформации шины 620/75-R26 Бел-93; *б* – определение пятна контакта шины 620/75-R26 Бел-93; *в* – определение радиальной деформации шины 23.5-25Ф Бел-247-1 G-2 L-2

В соответствии с задачами исследований были выделены следующие этапы испытаний данной машины: определение размерно-компоновочных параметров, включающих в себя замер основных геометрических величин, жесткостей и пятен контактов колес и т. д.; определение технико-эксплуатационных показателей машины, таких как эксплуатационная масса (рис. 2) и ее распределение по осям машины, скорость движения, параметры устойчивости, тягово-сцепные свойства; проведение экспериментальных исследований.

Определение величин размерно-компоновочных параметров рубильной машины «Амкодор 2904» выполнялось согласно ГОСТ 26025-83 на испытательской площадке ИЦИДМ (Исследовательского центра испытаний и доводки машин), аккредитованного на право проведения испытаний в Республике Беларусь на СТБ ИСО/МЭК 17025, завода «Дормаш» ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга. Измерения величин размерно-компоновочных параметров производились при помощи поверенного оборудования: стальной рулетки (20 м); отвеса ОТ-100-1; линейки (1000 мм); манометра ДМ 1001 У2 (шинный); угломера ЗУРИ-М.

Площадь пятна контакта шины определялась при помощи отпечатка окрашенной шины на бумаге. Окрашенное краской колесо рубильной машины приподнималось вилочным погрузчиком, под него на жесткое основание подкладывалась бумага, колесо опускалось и оставляло на бумаге пятно контакта (рис. 1, б).

Радиальная жесткость шин рубильной машины определялась отношением замеренных величин вертикальной нагрузки  $G_k$ , приходящейся на колесо, к величине радиальной деформации (прогиба)  $h_z$  данной шины [6]. Регис-

страция вертикальной нагрузки  $G_k$  (опорной реакции колеса) производилась устройством деформации УД-1, а величина радиальной деформации шины измерялась рулеткой с ценой деления 0,5 мм (рис. 1, а, в).

Определение массовых характеристик, положения центра тяжести и поперечной устойчивости экспериментального образца рубильной машины «Амкодор 2904» проходило в ГУ «Белорусская машиноиспытательная станция» (пос. Привольный, Минский р-н) (рис. 2, 3, 4).

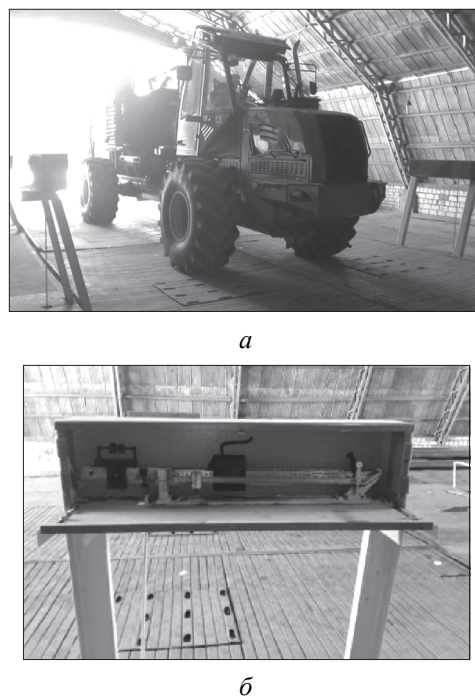


Рис. 2. Определение массовых характеристик объекта исследования:

*a* – замер эксплуатационной массы машины; *б* – весы РП15-Ш13

Замеры фактических значений эксплуатационной массы выполнялись при помощи четырех платформенных автомобильных весов марки РП15-Ш13 путем определения распределения веса машины по осям. Эксплуатационная масса машины находилась методом простого измерения путем взвешивания полностью заправленной машины, укомплектованной ЗИП, с водителем в кабине (рис. 3).

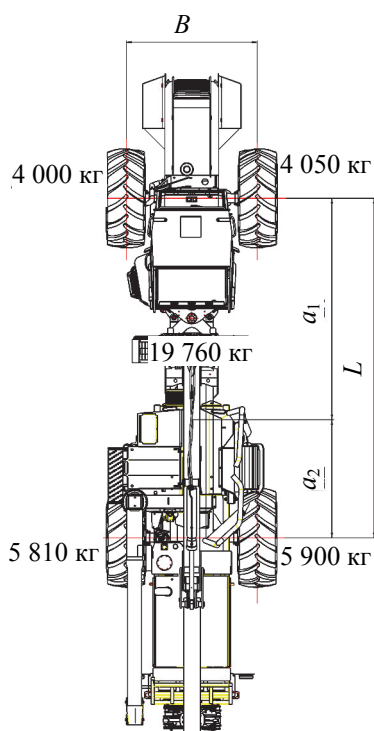


Рис. 3. Распределение веса рублильной машины по осям

После получения экспериментальных данных распределения веса по осям машины аналитическим путем было определено положение координат центра тяжести по длине базы машины (табл. 1). Положение координат центра тяжести по высоте ( $h_g$ ) вычислялось по зависимости, полученной из уравнений моментов относительно точек опоры колес.

Предельный угол поперечной устойчивости  $Q$  определялся экспериментально на специальном стенде СУ-40, имеющем платформу, которая может наклоняться на различные углы (от 0–50°) в поперечной плоскости (рис. 4, с.103).

Предельный угол наблюдался в момент отрыва колес одной стороны, при котором началось боковое опрокидывание машины. На стенде фиксировался угол наклона платформы в момент бокового опрокидывания.

Для анализа поперечной устойчивости мобильной рублильной машины разработана расчетная схема, при помощи которой были со-

ставлены уравнения моментов всех сил относительно точек [7–9] и получены зависимости изменений опорных реакций рублильной машины в процессе подъема платформы стенда СУ-40. Существенное влияние оказывают на поперечную устойчивость такие компоновочные параметры, как эксплуатационная масса, колея и высота положения центра тяжести машины [10, 11]. Так, чем шире колея и ниже расположен центр тяжести машины, тем при большем угле поперечного уклона происходит опрокидывание.

Таблица 1

**Результаты измерений величин  
размерно-компоновочных параметров  
мобильной рублильной машины  
«Амкодор 2904»**

| Наименование показателей                                                                                                                                                                                    | Значения                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Габаритные размеры, мм:                                                                                                                                                                                     |                                |
| длина (в транспортном положении)                                                                                                                                                                            | 10 600                         |
| ширина (по наружным боковым поверхностям колес)                                                                                                                                                             | 2 680                          |
| высота (по крыше кабины / по манипулятору)                                                                                                                                                                  | 3 670 / 4 630                  |
| Колея, мм                                                                                                                                                                                                   | 2 110                          |
| База, мм                                                                                                                                                                                                    | 5 460                          |
| Клиренс, мм                                                                                                                                                                                                 | 420                            |
| Максимальная высота щепопровода, мм                                                                                                                                                                         | 5 700                          |
| Площадь пятна контакта шин, м <sup>2</sup> /<br>радиальная жесткость шин, кН/м:<br>шина 620/75-R26 Бел-93<br>( $p_w = 0,32$ МПа):<br>при вертикальной нагрузке 57,8 кН<br>при вертикальной нагрузке 39,7 кН | 0,25605 / 680<br>0,20668 / 665 |
| шина 23.5-25Ф Бел-247-1 G-2 L-2<br>( $p_w = 0,35$ МПа):<br>при вертикальной нагрузке 60,7 кН<br>при вертикальной нагрузке 40,5 кН                                                                           | 0,23093 / 850<br>0,17141 / 780 |
| Вес машины, распределенный на переднюю ось, $G_{oc1}$ , кН                                                                                                                                                  | 78,89                          |
| Вес машины, распределенный на заднюю ось, $G_{oc2}$ , кН                                                                                                                                                    | 114,87                         |
| $L$ – продольная база рублильной машины, м                                                                                                                                                                  | 5,4                            |
| $B$ – поперечное расстояние между колесами, м                                                                                                                                                               | 2,1                            |
| Координаты положения центра тяжести, м:                                                                                                                                                                     |                                |
| $a_1$                                                                                                                                                                                                       | 3,5                            |
| $a_2$                                                                                                                                                                                                       | 1,9                            |
| $h_g$                                                                                                                                                                                                       | 2,0                            |
| Предельный угол поперечной устойчивости $Q$ , град                                                                                                                                                          | 27                             |
| Наибольшая высота препятствия, м                                                                                                                                                                            | 0,95                           |



Рис. 4. Стенд для определения предельного угла поперечной устойчивости СУ-40

Опрокидывание машины при нерациональной компоновке может произойти в поперечной плоскости при движении по склону или преодолении препятствий, когда колеса одной стороны окажутся на препятствии. Наибольшая высота препятствия, которую мобильная рубильная машина может преодолеть, составляет 0,95 м.

Одним из важнейших технико-эксплуатационных параметров мобильной рубильной машины является скорость ее передвижения. Определение максимальных скоростей движения машины на всех диапазонах ее передач проводилось на территории НТЦ «Республиканский полигон для испытаний мобильных машин» ГНУ ОИМ НАН Беларуси. Замер фактических скоростей выполнялся при помощи оборудования для измерения скоростных параметров KISTLER L-350 Aqua L, подсоединенного к портативному компьютеру (рис. 5).

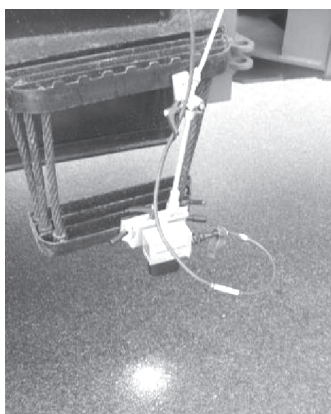


Рис. 5. Оборудование для измерения скоростных параметров мобильной рубильной машины

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 27927-88 (ИСО 6014-86). Измерения скоростей осуществлялись при следующих ус-

ловиях: технологическое оборудование располагалось в транспортном положении; на машине были установлены шины BELSHINA 23.5-25Ф Бел-247-1 G-2 L-2; давление в шинах составляло 0,35 МПа; измерения проводились на дороге с сухим асфальтобетонным покрытием; температура окружающего воздуха составляла +26°C, скорость ветра – 1,0 м/с. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты измерений скорости движения мобильной рубильной машины «Амкодор 2904»**

| Номер передачи | Скорость, км/ч |
|----------------|----------------|
| 1-я            | 5,6            |
| 2-я            | 8,3            |
| 3-я            | 20,2           |
| 4-я            | 29,8           |
| 1-я задняя     | 6,0            |
| 2-я задняя     | 5,5            |

Максимальная скорость движения объекта исследования наблюдалась на 4-й передаче, которая соответствует требованиям проекта ТУ ВУ 100135676.149-2013 (1-я передача – не менее 4,9 км/ч, 4-я передача – не менее 28,0 км/ч).

Замер усилий сопротивления движению и тяги проводился на испытательской площадке ИЦИДМ завода «Дормаш» ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга». Испытания проводились в сухую погоду. Усилие сопротивления движению и тяги мобильной рубильной машины определялось с помощью электронного динамометра с максимальной нагрузкой 200 кН. Для замера тягового усилия применялся динамометр электронный ДОР-3-И-200 с индикатором WI-4 (рис. 6).



Рис. 6. Оборудование для определения усилия сопротивления движению и тяги мобильной рубильной машины

Электронный динамометр предназначен для измерения статической и динамической силы растяжения, используется в испытательных ла-

бораториях и на производственных участках. Динамометр ДОР-3-И-200 представляет собой тензометрический датчик, соединенный кабелем связи с электронным измерительным индикатором WI-4. Электронный динамометр позволяет измерять плавно меняющиеся усилия, а также фиксировать максимальные и минимальные значения прилагаемых усилий. Питание электронного динамометра осуществлялось от автомобильного аккумулятора через преобразователь электрического тока (Power Inverter 12/220V, 600W, HT-E-600).

Для определения силы сопротивления движению и тягового усилия объекта исследования применялась машина универсальная лесохозяйственная «Амкодор 2061» (щеповоз) с навесным оборудованием в виде бункера, груженого щепой. При определении усилия сопротивления движению данная машина служила в качестве тягача, во время определения силы тяги – в качестве загрузочного устройства.

При определении усилий один конец тензометрического датчика электронного динамометра ДОР-3-И-200 монтировался к буксирному устройству технологического модуля задней части универсальной лесохозяйственной машины «Амкодор 2061», а другой – через трос к буксирному устройству опытного образца рубильной машины «Амкодор 2904» (рис. 7).

Определение максимального тягового усилия выполнялось в соответствии с ГОСТ 27247-87 (ИСО 7464-83) [12]. Технологическое оборудование устанавливалось в транспортном положении, были включены передний и задний мосты, блокировка межколесного дифференциала заднего моста. Регистрация параметров производилась в стоповом режиме и записывалась в журнал измерений. Перед каждым замером проводилась проверка работоспособности оборудования.



Рис. 7. Тензометрический датчик электронного динамометра ДОР-3-И-200

Включение и выключение измерительной аппаратуры выполнялось перед каждым дублированием замера.

Максимальное тяговое усилие опытного образца рубильной машины «Амкодор 2904» достигалось при включении переднего и заднего ведущего мостов, блокировки межколесного дифференциала заднего моста и (до буксования) для 1-й передачи переднего хода. Усилие сопротивления движению мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» составило 15 кН.

**Закключение.** Проведенные экспериментальные исследования мобильной рубильной машины позволили определить основные технико-эксплуатационные параметры машины (преодолеваемая наибольшая высота препятствия – 0,95 м; предельный угол поперечной устойчивости – 27 град.; максимальная скорость движения – 28,0 км/ч; усилие сопротивления движению – 15 кН; максимальное тяговое усилие – 144,4 кН и т.д.), используемые в дальнейших теоретических исследованиях [13–15].

### Литература

1. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 26 с.
2. Бершадский А. Л., Цветаева Н. И. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
3. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements // Journal of agricultural engineering, 2013. Vol. XLIV (s2): e75. P. 378–380.
4. Вальщиков Н. М. Рубильные машины: учеб. для вузов. СПб.: Машиностроение, 1970. 328 с.
5. Германович А. О. Динамическая модель работы мобильной рубильной машины // Автомобиль и электроника. Современные технологии. 2013. № 2 (5). С. 75–78.
6. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного лесопользования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 25 с.
7. Глебов И. Т. Подъемно-транспортные машины отрасли. Оборудование и методы решения задач по механическому транспорту деревообрабатывающих предприятий. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 51 с.
8. Таубер Б. А. Подъемно-транспортные машины: учеб. для вузов; 5-е изд., перераб. и доп. М.: Экология, 1991. 528 с.

9. Бычек А. Н. Обоснование параметров бесчокерной трелевочной машины на базе трактора МТЗ-82: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2000. 20 с.
10. Жуков А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие для вузов. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
11. Рахманов С. И., Гороховский К. Ф. Машины и оборудование лесоразработок. М.: Лесная пром-сть, 1967. 532 с.
12. Пищов С. Н. Применение движителя комбинированного типа для повышения тягово-цепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2008. 20 с.
13. Лой В. Н., Германович А. О. Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 21–24.
14. Германович А. О., Лой В. Н. Выбор мощности автономного двигателя рубильной машины // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 17–18 нояб. 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. Могилев, 2011. С. 145.
15. Влияние характеристик древесного сырья на энергозатраты рубильной машины с верхним выбросом щепы / А. О. Германович [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–22 апр. 2012 г. В 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. Могилев, 2012. Ч. 2. С. 13–14.

### References

1. Germanovich A. O. *Obosnovaniye parametrov mobil'noy rubil'noy mashiny na baze mnogo-funktional'nogo shassi dlya proizvodstva toplivnoy shchepy: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Parameters substantiation of mobile chipper based on multifunctional chassis for wood chips production. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2015. 26 p.
2. Bershadskiy A. L., Tsvetaeva N. I. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1975. 303 p.
3. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements. *Journal of agricultural engineering*, 2013, vol. XLIV (s2): e75, pp. 378–380.
4. Val'shchikov N. M. *Rubitel'nyye mashiny* [Chippers]. St. Petersburg, Mashinostroyeniye Publ., 1970. 328 p.
5. Germanovich A. O. The dynamic model of the mobile chipper. *Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii* [Car and electronics. Modern technology], 2013, no. 2 (5), pp. 75–78 (In Russian).
6. Arico S. E. *Obosnovaniye parametrov valочно-suchkorezno-raskryzhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo lesopol'zovaniya. Avtoref. dis. cand. tekhn. nauk* [Justification harvester parameters for intermediate forest cuttings. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2012. 25 p.
7. Glebov I. T. *Pod'yemno-transportnyye mashiny otrasli. Oborudovaniye i metody resheniya zadach po mekhanicheskomu transportu derevoobrabatывayushchikh predpriyatiy* [Handling machinery industry. Equipment and methods for solving problems in mechanical wood processing enterprises Transport]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2008. 51 p.
8. Tauber B. A. *Pod'yemno-transportnyye mashiny* [Handling machinery]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 528 p.
9. Bychek A. N. *Obosnovaniye parametrov beschokernoy trelevochnoy mashiny na baze traktora MTZ-82. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Justification settings beschokernoy skidder on the basis of MTZ-82: Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2000. 20 p.
10. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
11. Rakhmanov S. I., Gorokhovskiy K. F. *Mashiny i oborudovaniye lesorazrabotok* [Machinery and equipment lumbering]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1967. 532 p.
12. Pishchov S. N. *Primeneniye dvizhitelya kombinirovannogo tipa dlya povysheniya tyagovo-stsepnnykh svoystv lesnykh pogruzochno-transportnykh mashin: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [The use of propeller type combined to enhance traction characteristics of forest cargo transport vehicles. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2008. 20 p.
13. Loy V. N., Germanovich A. O. Effect of various characteristics of raw wood on energy saturation of the chipper. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 20–23 (In Russian).

14. Germanovich A. O., Loy V. N. [Selection of power independent engine chipper]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh* ("Novyye materialy, oborudovaniye i tekhnologii v promyshlennosti") [Materials of the International scientific and technical conference of young scientists ("New materials, equipment and technologies in the industry")]. Mogilev, 2011, p. 145 (In Russian).

15. Germanovich A. O., Loy V. N., Ariko S. E., Golyakevich S. A. [Influence of characteristics of wood raw material to the energy chipper with overhead discharge chips]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh* ("Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii") [Materials of the International scientific and technical conference of young scientists ("Materials, equipment and resource-saving technologies")]. Mogilev, 2012, part 2, pp. 13–14 (In Russian).

#### **Информация об авторе**

**Германович Александр Олегович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: germanovich@belstu.by

#### **Information about the author**

**Hermanovich Alexander Olegovich** – PhD (Engineering), senior lecturer, Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: germanovich@belstu.by

*Поступила 01.10.2018*

УДК 630\*383.4

**Е. И. Бавбель, А. И. Наumenко**

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

В настоящее время при строительстве лесных автомобильных дорог и дорог общего пользования в Республике Беларусь используются конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов, позволяющие повысить сроки службы и обеспечить высокие транспортно-эксплуатационные показатели дорог. Общеизвестным является тот факт, что ритмично и эффективно работают те предприятия лесного комплекса, которые имеют хорошо развитую сеть дорог, дающую возможность проводить транспортные операции в течение всего года. Перспективы увеличения лесосырьевых запасов и объемов заготовок древесины выдвигают необходимость существенно увеличить объемы строительства лесотранспортных путей, которые позволят предприятиям лесного комплекса обеспечить устойчивую работу. Нарращивание объемов дорожного строительства в лесу требует новых подходов к технологиям строительства дороги, а также к применяемым дорожным материалам.

В связи с этим в статье приведена методика оптимизации дорожных конструкций лесных автомобильных дорог, которая позволяет учитывать большое число факторов, анализировать и сравнивать различные варианты принимаемых технических решений.

**Ключевые слова:** конструкция, дорожная одежда, модуль упругости, георешетка, цементогрунт, прочность, надежность.

**J. I. Bavbel, A. I. Naumenko**

Belorussian State Technological University

**OPTIMIZATION METHOD FOR ROAD CONSTRUCTION FOREST ROADS**

Currently in the construction of forest roads and public roads in the Republic of Belarus are used in the design of road clothes of reinforced materials, allowing to increase the service and provide a high transport performance indicators. It is a recognized fact that smoothly and effectively working the enterprises of the forest complex that have a good developed network of roads, allowing to carry out transport operations throughout the year. The prospects for increasing forest stocks and rate of timber harvesting has made it necessary to significantly increase the volume of construction timber transport routes, which will allow enterprises of the forest complex to ensure stable operation. To increase the volume of road construction in the forest requires new approaches to technologies of construction of roads, and used road materials.

In this regard, the article presents a method of optimization of road structures of forest roads, which allows you to take into account a large number of factors, analyze and compare different options for technical solutions.

**Key words:** design, pavement, elastic modulus, geocell, cementaron, durability, reliability.

**Введение.** В настоящее время при строительстве автомобильных дорог общего пользования в Республики Беларусь используются конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов, что позволяет повысить сроки службы и обеспечить высокие транспортно-эксплуатационные показатели дорог [1–3].

Общеизвестным является тот факт, что ритмично и эффективно работают те предприятия лесного комплекса, которые имеют хорошо развитую сеть дорог, дающих возможность проводить транспортные операции в течение всего года. Однако почти повсеместно дорожная сеть развита недостаточно и не в полной мере удовлетворяет требованиям лесного комплекса страны.

В связи с этим особенно актуальной является проблема использования в дорожном строительстве местных грунтов в качестве дорожно-строительных материалов. Для получения достаточно высоких физико-механических и эксплуатационных свойств материалов из таких грунтов всегда требуется повышенный расход вяжущего, высокая стоимость которого сдерживает область применения данных грунтов. Поэтому постоянно ведется поиск эффективных способов, позволяющих снизить расход вяжущего, обеспечивающего необходимые показатели укрепленных материалов.

В связи с этим расширение областей строительства лесных дорог в сложных почвенно-грунтовых условиях обуславливает необходи-

мость разработки методики оптимизации дорожных конструкций лесных автомобильных дорог, направленной на обеспечение устойчивости основания дорожной конструкции; исключение недопустимых осадок основания конструкции после сооружения дорожной одежды; обеспечение динамической устойчивости конструкции под воздействием транспортной нагрузки.

**Основная часть.** Методика проектирования заключается в регулировании толщин и методов укрепления слоев земляного полотна, основания и покрытия дорожной одежды с соблюдением ограничений по требуемому модулю упругости, технологичности, минимальному возвышению, морозоустойчивости. При этом учитывают особенности, связанные с выбором разновидности георешетки, назначением толщин слоев дорожной одежды и подбором состава смеси из местных грунтов, укрепленных композиционным вяжущим, для заполнения ячеек.

Назначение конструктивных решений дорожных одежд с применением конструктивного слоя на основе арматурного каркаса «георешетка – цементогрунт» [3–8] выполняют в соответствии с ТКП 500 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства» и ТКП 45-3.03-112 «Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования». При этом указанные конструктивные композитные слои рассматриваются как сплошные квазиоднородные слои, имеющие повышенные прочность на растяжение при изгибе (за счет прочности и деформативности полос георешетки) и сопротивление сдвигу (за счет работы цементогрунта в замкнутой ячейке). В связи с этим расчет такого слоя на растяжение при изгибе и сдвиг не производится, а в качестве его расчетной характеристики при расчете конструкции дорожной одежды используется только модуль упругости.

Расчет армированных нежестких дорожных одежд выполняют по ТКП 45-3.03-112 и ТКП 500 в следующей последовательности:

- 1) рассчитывается неармированная дорожная одежда;
- 2) производится ориентировочная оценка снижения толщины несущих слоев основания для дорожных одежд из арматурного каркаса «георешетка – цементогрунт» [9–11]:
  - для капитальных усовершенствованных типов покрытий – 15–20%;
  - облегченных типов – 30–40%;
  - переходных и низших – 40–50%;
- 3) при заданных пониженных толщинах дорожных одежд определяются значения расчетного модуля упругости композитного слоя (арматурного каркаса «георешетка – цементогрунт»);
- 4) находятся расчетные значения коэффициентов прочности армированной конструкции;

5) производится сравнение расчетных значений коэффициентов прочности армированной конструкции с требуемыми значениями коэффициентов прочности (по ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112).

Конструкция принимается, если удовлетворяются условия по прочности по всем рассчитываемым критериям;

б) в случае, если условие по прочности не соблюдается по какому-либо критерию, производится повторный расчет конструкции, начиная с п. 3 и с измененными исходными данными (увеличение толщины слоев дорожной одежды, улучшение характеристик материалов слоев и т. п.).

Повторный расчет также выполняется, если по решающему критерию расчета получаемые значения коэффициента прочности армированной дорожной одежды превышают требуемые значения более чем на 5% – в этом случае выполняется перерасчет с уменьшением толщин слоев.

В общем виде данная математическая модель выглядит следующим образом:

целевая функция

$$C_{\text{ДК}} = f \left( h_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}}, h_{\text{АК}}, C_{\text{ПОК}}, C_{\text{ОСН}}, C_{\text{АК}}, C_{\text{ГМ}}, B, c \right) \rightarrow \min,$$

где  $C_{\text{ДК}}$  – общие затраты на устройство дорожной конструкции, млн руб.;  $h_{\text{ПОК}}$  – расчетная толщина покрытия дорожной конструкции, м;  $h_{\text{ОСН}}$  – расчетная толщина основания дорожной конструкции, м;  $h_{\text{АК}}$  – расчетная толщина арматурного каркаса дорожной конструкции, м;  $C_{\text{ПОК}}$  – стоимость покрытия дорожной конструкции, руб.;  $C_{\text{ОСН}}$  – стоимость основания дорожной конструкции, руб.;  $C_{\text{АК}}$  – стоимость арматурного каркаса дорожной конструкции, млн. руб.;  $C_{\text{ГМ}}$  – стоимость арматурного каркаса дорожной конструкции, руб.;  $B$  – ширина проезжей части, м;  $c$  – ширина обочины, м.

При следующих ограничениях:

– обеспечение требуемой прочности и надежности по величине упругого прогиба:

$$\begin{aligned} E_{\text{общ}}(h_{\text{ПОК}}, E_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}}, E_{\text{ОСН}}, E_{\text{ГР}}) &\geq E_{\text{мин}} \cdot K_{\text{ПР}}^{\text{ТР}} \\ E_{\text{общ}}^{\text{АК}}(h_{\text{ПОК}}, E_{\text{ПОК}}, h_{\text{АК}}, E_{\text{АК}}, h_{\text{ОСН}}, E_{\text{ОСН}}, E_{\text{ГР}}) &\geq \\ &\geq E_{\text{мин}}^{\text{АК}} \cdot K_{\text{ПР}}^{\text{ТР}}, \end{aligned}$$

где  $E_{\text{общ}}$ ,  $E_{\text{общ}}^{\text{АК}}$  – общий модуль упругости соответственно неармированной и армированной дорожных конструкций, МПа;  $E_{\text{ПОК}}$  – модуль упругости покрытия дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{ОСН}}$  – модуль упругости основания дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{АК}}$  – модуль упругости арматурного каркаса дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{ГР}}$  – модуль упругости земляно-

го полотна, МПа;  $E_{\min}$ ,  $E_{\min}^{AK}$  – минимальный требуемый модуль упругости соответственно неармированной и армированной дорожных конструкций, МПа;  $K_{ГП}^{TP}$  – требуемый коэффициент прочности дорожной конструкции по критерию упругого прогиба;

– обеспечение минимальной толщины конструктивных слоев, м:

$$h_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}} \geq 0,05;$$

$$h_{AK} \geq 0,10;$$

$$C_{\text{ПОК}}, C_{\text{ОСН}}, C_{AK}, C_{ГМ}, B, c \geq 0.$$

Управляемыми параметрами являются  $h_{\text{ПОК}}$ ,  $h_{\text{ОСН}}$ ,  $h_{AK}$ ,  $C_{\text{ПОК}}$ ,  $C_{AK}$ ,  $C_{ГМ}$ ,  $B$ ,  $c$ .

В результате получаемый эффект зависит от состава цементогрунта [13–15], марки георешетки (ее деформативных свойств), толщин слоев дорожной одежды, механических свойств материалов дорожных одежд и грунтов рабочего слоя зем-

ляного полотна. Численно эффект выражается в снижении толщин дорожной одежды или увеличении срока службы в соответствии с расчетами.

**Закключение.** Таким образом, разработанная методика базируется на методах математического программирования и позволяет определять рациональные параметры дорожных конструкций с учетом проектной нагрузки на дорогу, природно-производственных условий, стоимости дорожно-строительных материалов и применения георешеток ячеистой конструкции.

Учет большого числа факторов позволяет при использовании данной методики анализировать и сравнивать различные варианты принимаемых технических решений, связанных с обоснованием дорожной конструкции, применением местных грунтов, укрепленных новыми составами композиционных малоцементных вяжущих и арматурного каркаса «георешетка – цементогрунт».

### Литература

1. Васильев Ю. М., Агафонцев В. П., Исаев В. С. Дорожные одежды с основаниями из укрепленных материалов. М.: Транспорт, 1989. 191 с.
2. Насковец М. Т., Севрук С. А. Применение современного измерительного оборудования при проведении лабораторных исследований работы дорожных конструкций // Автомобильные дороги и мосты. 2007. № 1. С. 72–75.
3. Лыщик П. А., Бавбель Е. И. Проблема развития транспортной инфраструктуры лесопользователей // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 62–64.
4. Лесные автомобильные дороги. Нормы и правила устройства: ТКП 500-2013 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. 91 с.
5. Обоснование структуры и состава дорожной цементогрунтовой смеси на основе математической модели / П. А. Лыщик [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 39–43.
6. Лыщик П. А., Науменко А. И. Новые композиционные материалы для укрепления дорожных грунтов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика / ФГБОУ ВПО ВГЛТА, Воронеж, РФ. 2014. Т. 2. № 3–3 (8–3). С. 200–202.
7. Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Состав минерального вяжущего для укрепления дорожных грунтов // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 33–36.
8. Лыщик П. А., Науменко А. И. Механизмы структурообразования дорожных грунтов, укрепленных минеральными вяжущими // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 42–44.
9. Дорожная конструкция из арматурного каркаса «георешетка – цементогрунт», МПК С 01 С 7/32, 7/36 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № u 20150100; заявл. 19.03.2015.
10. Композиционный цемент: патент Респ. Беларусь, МПК С 04 В 7/04, С 04 В 28/5204, С 04 В 18/12, С 04 В 718/16, С 04 В 7/52 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № a 20121705; заявл. 06.12.12; опубл. 30.05.2015 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2015. № 4. С. 82.
11. Бавбель Е. И., Игнатенко В. В., Науменко А. И. Конструирование и методика расчета дорожных одежд из укрепленных грунтов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 58–60.
12. Лыщик П. А., Науменко А. И., Синяк С. А. Конструкции лесных автомобильных дорог на основе арматурного каркаса «георешетка – цементогрунт» // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 79–82.
13. Oburger E., Jager A., Pasch A., Dellantonio A., Stampfer K., Wenzel W. W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study // Science of The Total Environment. 2016. P. 711–721.
14. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads // Croatian Journal of Forest Engineering. 2014. P. 81–89.
15. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization // Biomass bioengineering. 2013. P. 294–302.

### References

1. Vasil'yev Ju. M., Agafontsev V. P., Isaev V. S. *Dorozhnyye odezhdyy s osnovaniyami iz ukreplennykh materialov* [Road clothes with the bases from the strengthened materials]. Moscow, Transport Publ., 1989. 191 p.
2. Naskovets M. T., Sevruck S. A. Application of the modern measuring equipment at carrying out of laboratory researches of work of road designs. *Avtomobil'nyye dorogi i mosty* [Highways and bridges], 2007, no. 1, pp. 72–75 (In Russian).
3. Lyshchik P. A., Bavbel J. I. The problem of development of transport infrastructure of forest users. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 62–64 (In Russian).
4. ТКР 500-2016 (33090). Wood highways. Norms and device rules. Minsk, Ministry of Forestry Republic of Belarus, 2016. 91 p. (In Russian).
5. Lyshchik P. A., Ignatenko V. V., Bavbel J. I., Naumenko A. I. Rationale the structure and composition of road cementogenesis mixtures based on mathematical models. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 39–43 (In Russian).
6. Lyshchik P. A., Naumenko A. I. New composite materials for strengthening for road soils. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice], 2014, vol. 2, no. 3–3 (8–3), pp. 200–202 (In Russian).
7. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. The composition of mineral binder for strengthening road soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 33–36 (In Russian).
8. Lyshchik P. A., Naumenko A. I. Mechanisms of structure formation of road soil, fortified astringent mineral. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 42–44 (In Russian).
9. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Kraskovskiy S. V., Naumenko A. I. *Dorozhnaya konstruktsiya iz armaturnogo karkasa «georeshetka – tsementogrun»* [Road design from reinforcing cage “geogrid-tsementogrun”]. Patent BY, no. 20150100, 2015.
10. Lyshchik P. A., Plyshevskiy S. V., Naumenko A. I. *Kompozitsionnyy tsement* [Composite cement]. Patent BY, no. 20121705, 2015.
11. Bavbel J. I., Ignatenko V. V., Naumenko A. I. The design and method of calculation of pavement of reinforced soil. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 58–60 (In Russian).
12. Lyshchik P. A., Naumenko A. I., Syniak S. A. Construction forest highways based on the reinforcement cage “Geocell-cementero”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).
13. Oburger E., Jager A., Pasch A., Dellantonio A., Stampfer K., Wenzel W. W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study. *Science of The Total Environment*. 2016, pp. 711–721.
14. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2014, pp. 81–89.
15. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization. *Biomass bioengineering*. 2013, pp. 294–302.

### Информация об авторах

**Бавбель Евгения Ивановна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

**Науменко Андрей Иванович** – кандидат технических наук, ассистент, ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

### Information about the authors

**Bavbel Jane Ivanovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

**Naumenko Andrey Ivanovich** – PhD (Engineering), Assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 28.02.2018

УДК 69.00.2.5

**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**СИСТЕМЫ МАШИН ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА  
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ**

Статья включает обзор основных видов работ, выполняемых при проведении содержания и текущего ремонта на лесохозяйственных дорогах, которые обеспечивают безопасное и эффективное движение в течение круглого года лесотранспортных средств с заданными скоростями и нагрузками, а также доступ для осуществления мероприятий по профилактике и тушению лесных пожаров.

На основе соблюдения выполнения требуемого перечня технологических операций по содержанию и ремонту лесохозяйственных дорог предлагается развитие и совершенствование систем машин отечественного производства.

В статье обоснована необходимость создания систем машин для круглогодичного содержания и ремонта дорог лесохозяйственного назначения, предназначенных осуществлять весь комплекс восстановительных и дорожных ремонтно-строительных работ. Практика формирования фрагментов систем машин, применяемых в народном хозяйстве, указывает на схожесть техники и агрегатируемого оборудования независимо от отрасли строительного комплекса. Это позволяет создавать многофункциональные энергетические средства, имеющие не только одинаковые базовые машины, но и навесное оборудование, отличающееся лишь исполнением конечного элемента – рабочего органа.

На основе предлагаемых в статье систем машин показаны направления, в которых необходимо своевременно модернизировать и / или создавать новые технические средства, чтобы реализовывать современные технологии в процессе проведения работ по содержанию и ремонту лесохозяйственных дорог.

**Ключевые слова:** лесохозяйственные дороги, система, машины и оборудование, ремонт, содержание, рекомендации, апробация.

**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**THE SYSTEMS OF MACHINES FOR THE MAINTENANCE  
AND MAINTENANCE OF FOREST ROADS**

The article includes a review of technological operations for maintenance and repair of forest roads, providing safe, efficient and continuous movement throughout the year with the given speeds and loads, as well as access to the implementation of measures for the prevention and suppression of forest fires.

On the basis of the list of the performed technological operations for the maintenance and repair of forest roads it is offered development and improvement of domestic systems of cars for the maintenance and maintenance of forest roads.

The article substantiates the necessity of creating a system of machines for year-round maintenance and repair of forest roads, which allows to carry out the whole complex of restoration and repair works. The practice of forming fragments of a system of machines found on the similarity of the techniques and mounted equipment regardless of the industry building complex, that allows you to create powerful energy tools that have not only the same basic machine but mounted equipment, differing only in the execution of the final element of the working body.

On the basis of the systems of machines offered in article the directions in which it is necessary to modernization and/or create new technical means to realize modern technologies in the course of work on the maintenance and repair of forest roads.

**Key words:** forestry roads, system, machinery and equipment, repair, maintenance, recommendations, approbation.

**Введение.** Государственной программой строительства лесохозяйственных дорог в 2011–2015 гг. в лесах Республики Беларусь

предусматривалось ежегодное строительство не менее 100 км лесохозяйственных дорог. Всего за 2011–2015 гг. построено и введено в экс-

плуатацию 570,1 км при плане 568,2 км. Согласно разработанной Подпрограмме строительства лесохозяйственных дорог в 2016–2020 гг., в 2017 г. при плане 100 км введено 101,3 км дорог.

Лесохозяйственные дороги, как и другие инженерные сооружения, требуют постоянного ухода, своевременного устранения разрушений, появившихся в процессе эксплуатации. Разрушение дорог, а также износ покрытия происходят как от воздействия нагрузок от автомобильного транспорта, так и в результате влияния природно-климатических и иных факторов, к которым можно отнести и лесные пожары [1–3].

В соответствии с п.п. 5.3 п. 5 Правил противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь (ТКП 193–2009 (02080)) в перечень важнейших задач мероприятий по противопожарному обустройству лесного фонда входит создание условий для их спешного тушения, что невозможно без дорог [4].

**Основная часть.** Основная цель содержания и ремонта лесохозяйственных дорог – это обеспечение безопасного, эффективного и непрерывного движения в течение круглого года с заданными скоростями и нагрузками, а также доступ для осуществления мероприятий по профилактике и тушению лесных пожаров.

В соответствии с Рекомендациями по текущему ремонту и содержанию лесных автомобильных дорог, согласованных Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь 14 декабря 2015 г. [5], круглогодичное содержание лесохозяйственных дорог в соответствии с климатическими условиями делится на четыре периода: весенний, летний, осенний и зимний.

В весенний период производятся технологические работы, связанные со спуском воды через искусственные сооружения и обеспечением скорейшего просыхания земляного полотна и дорожных одежд.

До таяния снега из отверстий гидротехнических сооружений и труб вынимают щиты, осматривают отверстия и скалывают лед, чтобы обеспечить их работу по пропуску воды полным сечением. Грейдером или экскаватором-погрузчиком прочищают снег в кюветах, наклонных и продольных водоотводных канавах. Производится очистка от снега обочин и откосов насыпей и выемок для более быстрого их прогревания и просыхания земляного полотна. По мере стаивания снега ведется постоянный мониторинг всех элементов лесохозяйственной дороги, их очистка от воды и грязи, пропуск паводковых вод и ледохода под мостами. Для предупреждения нежелательных последствий подмыва опор моста необходимо постоянно

измерять глубину воды, чтобы не допустить подмыв опор.

В конце весеннего периода восстанавливают поперечный профиль заплывших или заросших водоотводных канав, наносы в кюветах прочищают грейдерами или канавокопателями, а в некоторых местах вручную.

В летний период выполняют все основные ремонтно-восстановительные работы. Работы по содержанию и ремонту лесохозяйственных дорог заключаются в периодической утюжке и профилировании, которые проводят в конце дождливых периодов при влажном, но просыхающем грунте. Содержание земляного полотна летом заключается в планировке откосов, вырубке кустарника и скашивании растительности на откосах и обочинах, а также в уходе за кюветами, водоотводными канавами.

В настоящее время при содержании и ремонте лесохозяйственных дорог в лесах Республики Беларусь в летний период имеют место следующие виды ремонтных работ.

1. Планировка (грейдерование) дорожного покрытия. Для выполнения данной операции применяется грейдер.

2. Устранение выбоин включает такие технологические операции, как рыхление, подвозка грунта, рыхление грунта и уплотнение грунта. Для выполнения указанных операций применяются бульдозер, автомобиль-самосвал и каток.

3. Устранение колеиности включает такие технологические операции, как подвозка песка, отсыпка песка, разравнивание песка, планировка и уплотнение покрытия. Для выполнения указанных операций используются автомобиль-самосвал, грейдер и каток.

4. Ликвидация колеиности с использованием колеиного покрытия в виде горизонтальной прослойки с вертикальными элементами геосинтетического материала включает укладку геотекстиля с вертикальными полосами, подвоз и отсыпку грунта, разравнивание его и уплотнение. В данном случае применяются автомобиль-самосвал, бульдозер или грейдер и каток.

5. Устранение гребенки включает рыхление грунта, подвоз и разравнивание ПГС, перемешивание грунта дороги и привозной ПГС и уплотнение покрытия. Применяются автомобиль-самосвал, бульдозер-рыхлитель, грейдер и каток.

6. Ликвидация нарастания обочины включает срез наплывов, подвоз и профилирование грунта, уплотнение дорожной одежды. Применяются автомобиль-самосвал, бульдозер, грейдер и каток.

7. Устранение нарастания обочины с использованием геосинтетического материала включает срез наплывов, уплотнение грунта,

укладку геотекстиля, подвоз и профилирование грунта, уплотнение дорожной одежды. Применяется автомобиль-самосвал, бульдозер, грейдер и каток.

8. Ликвидация просадок на лесохозяйственных дорогах включает подвоз, распределение и профилирование грунта, уплотнение дорожной одежды. Применяются автомобиль-самосвал, бульдозер или грейдер и каток.

9. Устранение просадок с использованием геосинтетического материала включает подвоз и посыпку грунта, укладку геотекстиля, подвоз, распределение и профилирование грунта, уплотнение дорожной одежды.

10. Скашивание дресвенокустарниковой растительности производится как тракторами с навесными косилками, так и кусторезами, агрегируемыми с тракторами и самоходными машинами, а также специализированными самоходными машинами-измельчителями дресвенокустарниковой растительности.

11. Устранение зарастания лесохозяйственных дорог с использованием геосинтетического материала включает следующие технологические операции: срезание дресвенокустарниковой растительности бензомоторными пилами и кусторезами, укладку геосинтетического материала на всю ширину проезжей части, подвоз грунта, распределение и профилирование грунта по поверхности дороги и уплотнение дорожной одежды. В данном случае используются кусторез, автомобиль-самосвал, бульдозер или грейдер и каток, а также ручной бензомоторный инструмент.

Также в летний период ликвидируют пучинистые участки, уширяют лесохозяйственные дороги, укрепляют откосы выемок, насыпей и канав, устраивают водобойные колодцы, улучшают дорожные одежды (при переводе в более высокую техническую категорию), выполняют мероприятия по борьбе с пылеобразованием, приводят в полную исправность мосты, трубы, проезды и дорожные знаки.

Кроме того, в противопожарных целях дорожное полотно следует очищать от всех горючих материалов и, в частности, от сухой растительности. Случайно оказавшиеся на обочине лесоматериалы необходимо убирать, а сами обочины прочищать грейдером. Для этих целей производят проходы грейдером или бульдозером [6–11].

В осенний период большое количество атмосферных осадков приводит к излишнему увлажнению земляного полотна и постепенному размоканию грунта. Этот период характеризуется ухудшением состояния дорожных одежд, поэтому необходимо обращать внимание на образование колеи и своевременно спускать

дождевые воды с поверхности покрытий. Особенно важно не допускать нарушений работы водоотводных канав и очищать поверхности от грязи. Для утюжек и профилирования следует использовать все перерывы. Нужно выровнять поверхность дороги и придать ей необходимый профиль в момент замерзания грунтов полотна, чтобы снег упал на ровную дорогу. Это обеспечит весной быстрое ее просыхание.

Осенью лесохозяйственные дороги готовят к зиме. На заносимых снегом местах заблаговременно до замерзания грунта устанавливают колья для снегозащитных щитов, на подъёмы завозятся материалы для посыпки поверхности дорожного полотна при гололеде и пр.

В зимний период основными видами работ по содержанию дорог являются уборка снега и борьба с гололедом. Зимой на дорожных покрытиях могут образоваться пучины, проезд по которым в весеннее время приводит к значительным поломкам дорожных одежд. Поэтому участки, на которых весной оттаивают пучины, следует закрывать деревянными щитами или толстым (20–25 см) слоем хвороста. Подсыпaeмый грунт должен быть примерно того же вида, что и грунт земляного полотна.

Для обеспечения безаварийного движения зимой, особенно во время оттепелей, на уклонах, поворотах и перекрестках создаются запасы материалов, уменьшающих скольжение: мелкого гравия, золы, шлака или песка. Их средний расход 0,2 м<sup>3</sup> на 1000 м<sup>2</sup> поверхности дороги. Если такие материалы и не рассыпаны вовремя, то водители машин могут сами ими воспользоваться.

Таким образом, ремонт и содержание играют главную роль в обеспечении нормального технического состояния лесохозяйственных дорог. Однако, несмотря на исключительную важность, эти работы не обеспечены в полной мере средствами механизации, и некоторые виды их выполняются вручную либо малоэффективным оборудованием, иногда бессистемно.

Таким образом, в лесной отрасли Беларуси назрела проблема создания мобильных систем машин для содержания и ремонта лесохозяйственных дорог в различные периоды года. Данные системы машин призваны обеспечить повышение эффективности содержания и ремонта лесохозяйственных дорог, увеличить экспортный потенциал строительной техники, производимой в Республике Беларусь, сэкономить финансовые ресурсы государственных лесохозяйственных учреждений за счет исключения дублирования разработки однотипных машин отечественными производителями.

Из анализа видов ремонтных работ мы видим, что максимальный перечень исполь-

зуемой техники и оборудования для содержания и ремонта лесохозяйственных дорог состоит из измельчителя дресвенокустарниковой и травяной растительности, автомобиля для подвозки грузов, бульдозера или грейдера для земляных работ, катка для уплотнения дорожных одежд и земляного полотна, также необходим и ручной бензомоторный инструмент, которым являются бензопилы, мотокося и мотокусторезы [2, 3].

Принимая во внимание современные достижения техники и технологии, мировой уровень развития строительных отраслей и потенциальные возможности отечественных производителей, создание систем машин для содержания и ремонта лесохозяйственных дорог, на наш взгляд, должно включать выполнение следующих этапов:

- создание технологий производства операций по содержанию и ремонту лесохозяйственных дорог с учетом появления новых технологий, их совершенствования и развития;
- подбор под технологии производства работ существующих технических средств с оптимальными параметрами и создание новой техники и оборудования, обеспечивающих качественную реализацию технологий [12].

Анализируя имеющийся опыт, можно констатировать, что системы машин носят региональный характер, так как ориентированы на отечественного производителя техники и содержат рекомендации по комплектам специализированных машин для отечественных базовых шасси и энергетических модулей.

В настоящее время машиностроительными предприятиями ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Минский автомобильный завод», ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга и другими выпускается специализированная дорожная техника. Анализ модельного ряда выпускаемой техники для строительной и аграрной отраслей народного хозяйства Беларуси представляет возможным предложить следующие виды технических средств для формирования систем машин для ремонта и содержания лесохозяйственных дорог Республики Беларусь в летний и зимний периоды (см. рисунок).

Вместе с тем представленная техника строительного комплекса создавалась под соответствующие технологии производства работ и строительных материалов с учетом всех их требований. В настоящее время новые технологии и материалы создаются быстрее, чем для их реализации выпускается новая техника, поскольку для создания машины и организации ее производства при сложившейся практике требуется значительно больше времени. В данной

ситуации для реализации новой технологии дорожные службы применяют имеющуюся в парке технику и приспособляют производимую в республике, что ведет к снижению качества выполняемых работ и производительности, увеличению финансовых затрат [13].

Создание парка отечественной дорожно-строительной техники по объективным и субъективным причинам запаздывает, в том числе и по причине потери времени на приобретение негативного опыта. Естественно, заблаговременное создание систем машин под перспективные технологии и материалы позволит выиграть время для машиностроителей, и на момент внедрения перспективных технологий или материалов будет уже готова адаптированная под нее машина. Опыт создания отдельных фрагментов отдельно взятой системы машин указывает на схожесть машин независимо от отрасли строительного комплекса, что позволяет создавать многофункциональные технические средства, имеющие не только одинаковые базовые машины, но и агрегируемое оборудование, отличающееся лишь исполнением конечного элемента – рабочего органа [13, 14]. Практика показывает, что целесообразно под базовые шасси и энергетические модули создавать легкоъемное рабочее оборудование различного функционального назначения. Тогда обновляемые парки машин станут компактней, а базовые шасси и энерго-модули будут эффективней использоваться. Развивая и совершенствуя системы машин, необходимо принять решение о целесообразности постановки конкретной машины на производство в Беларуси или приобретения ее за рубежом, если воссоздать зарубежную технику будет более финансовозатратно, чем ее приобрести.

Как пример, в перспективном плане ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга заложена проектируемая машина-мульчирователь АМКОДОР 2021. Естественно, для ухода за лесными массивами и их защиты, создания противопожарных полос, а также строительства, эксплуатации и ремонта лесохозяйственных дорог данная перспективная машина нужна и должна входить в комплекс машин. В этой связи Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь полагает целесообразным спроектировать энергетическое средство со следующим набором сменного навесного оборудования: кусторез; фронтальный мульчер и мульчер для обочин; агрегат для переработки порубочных остатков; плуг-фреза; грейдер; виброкоток; виброплита; дробилка; косилка для обочин; сверло, бур и другие агрегаты и оборудование.

| Виды работ           | Срезание растительности                                                             | Погрузка грунта                                                                     | Подвоз грунта                                                                       | Распределение грунта                                                               | Профилирование грунта                                                             | Уплотнение дорожной одежды                                                        |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Наименование техники | Косилка, кусторез, измельчитель                                                     | Погрузчик универсальный                                                             | Автомобиль-самосвал                                                                 | Бульдозер                                                                          | Грейдер                                                                           | Каток                                                                             |
|                      |  |  |  |  |  |  |
| Марка техники        | АМКОДОР К-78М, косилка ротационная дорожная КРД-1,5 и др.                           | АМКОДОР 342С4 и другие модификации                                                  | МАЗ-4571 и другие модификации                                                       | БЕЛАРУС 1402                                                                       | АМКОДОР RD-165С и другие модификации                                              | АМКОДОР 6223 и другие модификации                                                 |

## а) весенне-летне-осенний период

| Виды работ           | Уборка снега                                                                         | Погрузка снега                                                                       | Вывоз снега                                                                          | Расчистка дороги                                                                    | Профилирование дороги                                                               | Уплотнение снега                                                                   |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Наименование техники | Машина снегоуборочная                                                                | Погрузчик универсальный                                                              | Автомобиль-самосвал                                                                  | Бульдозер                                                                           | Грейдер                                                                             | Каток                                                                              |
|                      |  |  |  |  |  |  |
| Марка техники        | Снегоочиститель фрезерно-роторный АМКОДОР 9211А1                                     | АМКОДОР 342С4 и другие модификации                                                   | МАЗ-4571 и другие модификации                                                        | БЕЛАРУС 1402                                                                        | АМКОДОР RD-165С и другие модификации                                                | АМКОДОР 6223 и другие модификации                                                  |

## б) зимний период

Предлагаемая система машин для содержания и ремонта лесохозяйственных дорог Республики Беларусь

**Заключение.** На основании изложенного можно сделать вывод, что создание систем машин для круглогодичного содержания и ремонта лесохозяйственных дорог, позволяющих осуществлять весь комплекс восстановительных и ремонтных работ обоснованно, необходимо. Практика формирования фрагментов системы машин указывает на схожесть техники и агрегируемого оборудования независимо от отрасли строительного комплекса, что позволяет создавать многофункциональные энергетические средства, имеющие не только одинаковые базовые машины, но и агрегируемое оборудование, отличающееся лишь исполнением конечного элемента – рабочего органа. Это дает возможность формировать комплекты машин для различных сезонов проведения дорожных ремонтно-строительных работ.

Установлено, что многофункциональность способствует существенному снижению финансовых затрат на обновление машинных парков и увеличению тиража строительной техники. Наличие разноплановых систем машин своевременно подсказывает, какие технические средства необходимо создавать, чтобы реализовывать современные технологии в содержании и ремонте лесохозяйственных дорог.

Надежную строительную технику, в том числе многооперационную, на наш взгляд, следует производить по методу субконтрактации, т. е. собирать ее из готовых надежных унифицированных узлов, изготовленных не только в Беларуси, что в конечном итоге поспособствует эффективной модернизации машиностроения, а производство новой техники для строительных работ под перспективные технологии будет происходить с наименьшими финансовыми и временными затратами.

### Литература

1. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: учебник. Минск: Техноперспектива, 2006. 447 с.
2. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: практикум. Минск: БГТУ, 2005. 160 с.
3. 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 социальной защиты Респ. Беларусь и М-ва лесного хозяйства Респ. Беларусь от 30 дек. 2008 г. № 211/39. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147\(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147(016-099).pdf) (дата обращения: 24.09.2017).
4. Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь: ТКП 193-2009 (02080). Введ. 2009–11–01. Минск: М-во лесного хозяйства Респ. Беларусь: УП «Белгипролес», 2009. 20 с.
5. Рекомендация по текущему ремонту и содержанию лесных автомобильных дорог, согласованные М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 14 дек. 2015 г. Минск. 2015. 31 с.
6. Исследование эксплуатационного состояния лесных дорог и разработка рекомендаций по их содержанию / М. Т. Насковец [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 65–69.
7. Леонович И. И., Оковитый А. Л. Эксплуатация лесных дорог. Минск: Выш. шк., 1972. 448 с.
8. Лемешко Б. Ю., Лемешко С. Б., Горбунова А. А. О применении и мощности критериев проверки однородности дисперсий. Ч. I. Параметрические критерии // Измерительная техника. 2010. № 3. С. 10–16.
9. Насковец М. Т. Применение геотекстиля при строительстве лесных дорог в Республике Беларусь // Дороги. Инновации в строительстве. 2012. № 16. С. 72–74.
10. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2009. 170 с.
11. Насковец М. Т., Корин Г. С., Драчиловский А. И. Применение геотекстильного материала «Спанбел» при строительстве опытных объектов лесных дорог второстепенного значения и результаты их испытаний // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 31–33.
12. Вавилов А. В. На пути к «системе машин» в целях комплексной механизации строительного комплекса Беларуси // Строительная наука и техника. 2011. № 1. С. 74–75.
13. Вавилов А. В. О необходимости создания системы технологических машин строительного комплекса // Наука и техника. 2014. № 5. С. 82–85.
14. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: Выш. шк., 1987. 297 с.
15. Лесные автомобильные дороги: нормы проектирования и правила устройства. ТКП 500-2013 (02080). Введ. 01.03.2014. Минск: М-во лесного хозяйства Респ. Беларусь, 2013. 87 с.

### References

1. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and Equipment timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 447 p.

2. Matveyko A. P., Klovov D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and Equipment timber production]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 160 p.
3. *Ob utverzhdenii mezhotraslevykh pravil po okhrane truda v lesnoy, derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti i v lesnom khozyaystve Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus'* [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], 2008, no. 211/39. Avalibale at: [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147 \(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147%20(016-099).pdf) (accessed 24.09.2017).
4. TAP 193-2009 (02080) [Rules of fire-prevention arrangement of forests of the Republic of Belarus]. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2009. 20 p. (In Russian).
5. TAP 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).
6. Naskovets M. T., Zharkov N. I., Drachilovsky A. I., Korin G. S., Khoroshun N. V. Study of the operational state of forest roads and development of recommendations on their content. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 65–69 (In Russian).
7. Leonovich I. I., Okovity A. L. *Ekspluatatsiya lesnykh dorog* [Exploitation of forest roads]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1972. 448 p.
8. Lemeshko B. Yu., Lemeshko S. B., Gorbunova A. A. On the application of power and homogeneity of variances test criteria. Part I. The parametric criteria. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measuring equipment], 2010, no. 3, pp. 10–16 (In Russian).
9. Naskovets M. T. Use of geotextiles in the construction of the forest roads in the Republic of Belarus. *Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve* [Roads. Innovations in buildin ], 2012, no. 16, pp. 72–74 (In Russian).
10. Naskovets M. T. *Transportnoye osvoyeniye lesov Belarusi i komponenty lesotransporta* [Transport development of forests of Belarus and forest transport components]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 170 p.
11. Naskovets M. T., Korin G. S., Drachilovsky A. I. Application of geotextile “SpunBel” experienced during the construction of objects of forest roads of secondary importance and the results of their tests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 31–33 (In Russian).
12. Vavilov A. V. On the way to the machinery for the purposes of comprehensive mechanization of the construction complex of Belarus. *Stroitel'naya nauka i tekhnika* [Building Science and Technology], 2011, no. 1, pp. 74–75 (In Russian).
13. Vavilov A. V. On the need to create a system of technological machines of the construction complex. *Nauka i tekhnika* [Science and Technology], 2014, no. 5, pp. 82–85 (In Russian).
14. Vyrko N. P. *Sukhoputnyy transport lesa* [Land transport timber]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1987. 297 p.
15. TAP 500-2013 (02080). Inter-industry regulations on labor protection in forestry, wood industry and forestry of Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2013. 87 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Хорошун Николай Владимирович** – магистр экономических наук, магистр технических наук, доцент кафедры организации производства и экономики недвижимости. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь), 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](mailto: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](mailto:naskovets@belstu.by)

### Information about the authors

**Khoroshun Nikolai Vladimirovich** – Master of economics, Master of engineering, Associate Professor, the Department of Production Organization and Real Estate Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus), 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](mailto:kharashun@ministry.mlh.by)

**Naskovets Michael 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](mailto:naskovets@belstu.by)

Поступила 31.01.2018

УДК 630\*245.11

**Д. А. Кононович**

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
МАШИНЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

При выполнении совместной научно-исследовательской работы БГТУ и ОАО «Минский тракторный завод» разработали опытный образец машины для транспортировки лесосечных отходов. Для определения параметров опытного образца, технико-эксплуатационных показателей, его соответствие техническому заданию, проекту технических условий и требованиям стандартов, технической и технологической документации были проведены исследовательские испытания согласно предварительно разработанной программе и методике испытаний. В процессе проведения испытаний было определено распределение реакций под колесами опытного образца с различными вариантами загрузки грузовой платформы, установлены мощностные параметры при осуществлении технологических операций, определена эффективность транспортировки лесосечных отходов с уплотнением и без уплотнения, выполнена оценка динамической нагруженности шасси и технологического оборудования машины, а также определен необходимый объем доработки опытного образца и корректировки конструкторской документации. Найдена грузоподъемность манипулятора при различных параметрах гидравлической системы манипулятора в ходе выполнения операции технологического цикла работы машины для транспортировки лесосечных отходов. В процессе проведения исследовательских испытаний использовалось высокоточное измерительное оборудование.

**Ключевые слова:** машина, технологическое оборудование, грузовая платформа, испытания, измерительное оборудование, лесосечные отходы, гидроманипулятор, параметры.

**D. A. Kononovich**

Belarusian State Technological University

**RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES  
MACHINE FOR COLLECTION OF FOREST RESIDUES**

When performing joint research work of the Belarusian State Technical University and OJSC “Minsk Tractor Works” developed a prototype of a machine for transporting logging waste. To determine the parameters of the prototype, technical and operational indicators, its compliance with the technical requirements, the draft technical conditions and the requirements of standards, technical and technological documentation were conducted research tests, according to a previously developed program and test methods. In the course of testing, the distribution of reactions under the wheels of a prototype with various loading options for the loading platform was determined, the power parameters were established during technological operations, the efficiency of transportation of logging waste with compaction and without compaction was determined; determined the necessary amount of refinement of the prototype and the adjustment of design documentation. The loading capacity of the manipulator is determined for various parameters of the hydraulic system of the manipulator when performing operations of the technological cycle of operation of the machine for transporting logging waste. In the process of conducting research tests used high-precision measuring equipment.

**Key words:** machine, technological equipment, loading platform, testing, testing equipment, forest residues, hydromanipulator, parameters.

**Введение.** Приоритетным направлением для развития лесного комплекса республики является создание и внедрение перспективных и высокопроизводительных лесных машин отечественного производства на предприятиях Министерства лесного хозяйства. В связи с этим в рамках государственной научно-технической программы на 2017–2018 г. ОАО «Минский тракторный завод» совместно с БГТУ разработали опытный образец машины для транспортировки лесосечных отходов, позволяющей осуществлять погрузку, уплотне-

ние, транспортировку и разгрузку лесосечных отходов на промежуточном складе для последующей переработки в щепу. С целью оценки соответствия технико-эксплуатационных показателей машины и технологического оборудования требованиям нормативно-технической документации, изучения влияния природно-производственных факторов на эксплуатационные свойства, а также выявления узлов и агрегатов, требующих доработки, были проведены предварительные и исследовательские испытания [1–3].

**Основная часть.** В рамках реализации данного проекта для проведения предварительных и исследовательских испытаний машины для транспортировки лесосечных отходов с учетом действующих нормативных документов и имеющегося высокоточного измерительного оборудования были разработаны соответствующие программы и методики [4, 5]. Экспериментальные исследования машины для транспортировки лесосечных отходов проводились в природно-производственных условиях Березовского лесничества ГЛХУ «Пружанский лесхоз». На испытания был представлен опытный образец машины для транспортировки лесосечных отходов, состоящий из базового трактора Л82.2 и полуприцепа лесовозного ПЛ-9 с установленным оборудованием полуприцепа лесовозного (рис. 1). Технические характеристики оборудования полуприцепа лесовозного представлены в табл. 1.



Рис. 1. Машина для транспортировки лесосечных отходов

Таблица 1

**Технические характеристики оборудования полуприцепа лесовозного**

| Параметр                                                                  | Значение           |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Масса, кг, не более                                                       | 1800               |
| Грузоподъемность, кг, не более                                            | 7500               |
| Площадь поперечного сечения платформы при закрытых бортах, м <sup>2</sup> | 4,5                |
| Объем загрузки, м <sup>3</sup>                                            | 20                 |
| Угол раскрытия подъемных бортов, не более                                 | 110°               |
| <b>Габаритные размеры, мм</b>                                             |                    |
| При закрытых бортах (длина / ширина / высота), мм                         | 4600 / 2480 / 2520 |
| При открытых бортах (длина / ширина / высота), мм                         | 4600 / 5140 / 1800 |

Перед установкой технологического оборудования с полуприцепа ПЛ-9 демонтируются стойки (коники) для перевозки сортиментов,

после чего основание оборудования полуприцепа лесовозного крепится к продольным лонжеронам рамы полуприцепа через специальные скобы болтовым соединением. После крепления оборудования к лонжеронам полуприцепа осуществляется подключение гидросистемы оборудования полуприцепа к гидросистеме базового трактора, что обусловлено наличием гидравлического привода бортов [6]. Это позволяет изменять объем грузовой платформы с целью последующего уплотнения лесосечных отходов, что увеличивает рейсовую нагрузку и производительность машины для транспортировки лесосечных отходов [7]. Визуализация этапов установки оборудования полуприцепа лесовозного представлена на рис. 2.

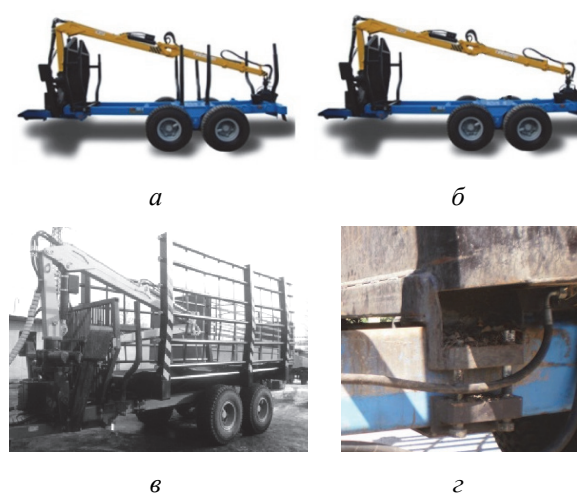


Рис. 2. Этапы установки оборудования полуприцепа лесовозного:

- а – полуприцеп лесовозный БЕЛАРУС ПЛ-9;
- б – полуприцеп лесовозный БЕЛАРУС ПЛ-9 с демонтированными стойками (коники);
- в – установка оборудования для транспортировки лесосечных отходов на полуприцеп ПЛ-9;
- г – крепление оборудования к лонжеронам рамы полуприцепа ПЛ-9

При проведении экспериментальных исследований регистрация изменяемых параметров осуществлялась с использованием специализированного оборудования в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и переносного персонального компьютера (рис. 3, а). Силовые параметры определялись при помощи тензометрического датчика силы U9B (рис. 3, б), устройств деформаций УД-1 (рис. 3, в) производства НВМ и диагностического прибора The Parker Service Master Plus (рис. 3, г). Источником питания измерительного оборудования являлась аккумуляторная батарея фирмы Westa (65Ah).

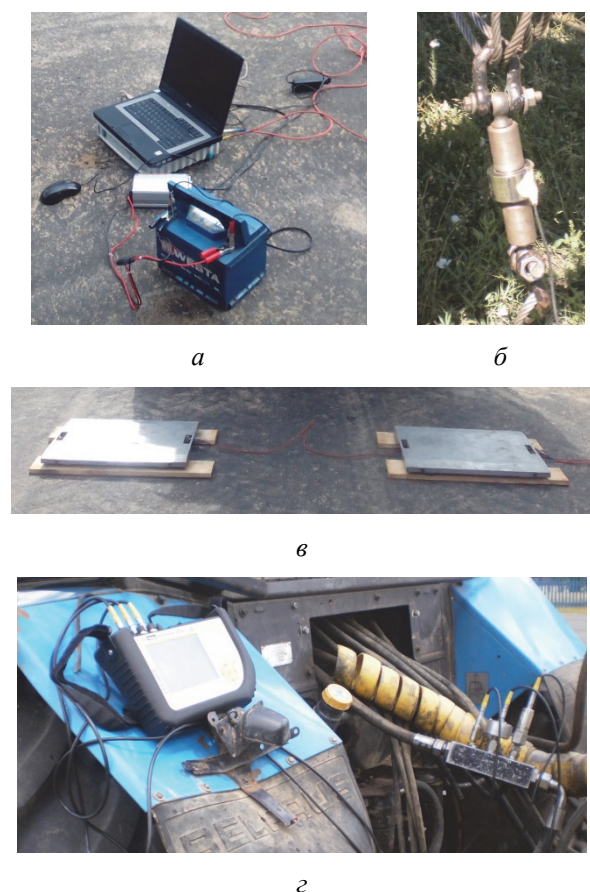


Рис. 3. Измерительное оборудование:  
 а – многофункциональное измерительное оборудование Spider 8, переносной персональный компьютер с аккумулятором и адаптером;  
 б – датчик силы U9B;  
 в – устройство деформации УД-1;  
 г – диагностический прибор The Parker Service Master Plus и расходомер гидравлической жидкости с установленными датчиками

Перед экспериментальными исследованиями измерительное оборудование и датчики подлежали тарировке и проверке работоспособности, а также осуществлялась их настройка в программном обеспечении Catman. Регистрация измеряемых параметров производилась на жесткий диск компьютера и сопровождалась графической визуализацией процесса. На каждом канале была установлена частота опроса датчиков 50 Гц. В результате измерений получены массивы значений измеряемых параметров в цифровом формате и в реальном времени с дискретностью 0,02 с. Регистрация определяемого параметра производилась тензометрическим методом с относительной погрешностью 0,5%. Полученные массивы данных обрабатывались методами математической статистики [8–10].

При проведении экспериментальных исследований была рассмотрена эффективность за-

грузки лесосечных отходов. С этой целью определялись опорные реакции под колесами машины для транспортировки лесосечных отходов в порожнем состоянии, в груженом состоянии без раскрытия бортов и в груженом состоянии с раскрытием бортов (рис. 4).



Рис. 4. Определение реакций под колесами машины для транспортировки лесосечных отходов:  
 а – определение реакции под передней осью базового трактора;  
 б – определение реакции под задней осью базового трактора;  
 в – погрузка лесосечных отходов с закрытыми бортами;  
 г – погрузка лесосечных отходов с открытыми бортами

В результате оценки эффективности загрузки лесосечных отходов установлено, что на переднюю ось машины для транспортировки лесосечных отходов в порожнем состоянии приходится 17,3 кН, заднюю ось трактора – 43,7 кН, а на балансирную тележку полуприцепа – 35,2 кН (рис. 5).

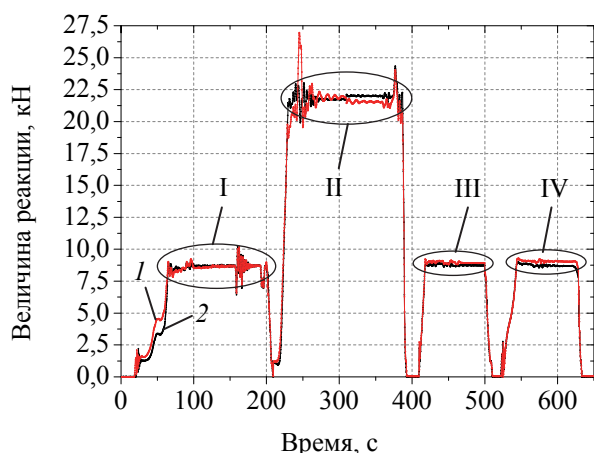


Рис. 5. Распределение реакций под колесами машины для транспортировки лесосечных отходов в порожнем состоянии:

- I – правый борт; 2 – левый борт;
- I – величины реакций под колесами передней оси базового трактора;
- II – величины реакций под колесами задней оси базового трактора;
- III – величины реакций под передними колесами балансирующей тележки полуприцепа;
- IV – величины реакций под задними колесами балансирующей тележки полуприцепа

При установке технологического оборудования для транспортировки лесосечных отходов на полуприцеп ПЛ-9 происходит перераспределение реакций. Так, нагрузка на передней оси трактора снижается до 16,7 кН, нагрузка на задней оси трактора увеличивается до 45,8 кН, нагрузка на балансирующей тележке полуприцепа увеличивается до 50,2 кН. В процессе проведения экспериментальных исследований по оценке эффективности загрузки лесосечных отходов установлено, что при загрузке без уплотнения лесосечных отходов нагрузка на балансирующей тележке возрастает до 65 кН. При уплотнении лесосечных отходов бортами нагрузка на балансирующей тележке достигает 95,6 кН, при этом происходит снижение нагрузки на передней оси трактора на 5–7%, а также догрузка задней оси трактора до 4–6%. При загрузке лесосечных отходов было установлено, что основная масса лесосечных отходов располагается равномерно по платформе, однако в передней части платформы имеется «мертвая» зона для гидроманипулятора. С целью устранения данного недостатка в процессе загрузки грузовой платформы следует производить подтаскивание лесосечных отходов к защитному ограждению полуприцепа.

В процессе наполнения грузовой платформы задняя ось базового трактора догружается непосредственно через крюк, который соединен с дышлом полуприцепа. Для определения дей-

ствующих нагрузок на крюк базового трактора использовался домкрат и устройство деформации УД-1, подключенное к многофункциональному измерительному оборудованию Spider 8 с переносным персональным компьютером (рис. 6). Определение нагрузки, приходящейся на крюк базового трактора, проводилось без установки оборудования полуприцепа лесовозного на полуприцеп ПЛ-9 и с его установкой.

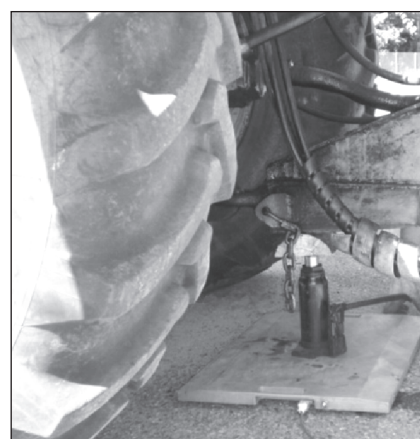


Рис. 6. Определение нагрузки, приходящейся на крюк базового трактора

В результате исследования установлено, что нагрузка на крюк без установленного оборудования полуприцепа лесовозного на полуприцеп ПЛ-9 составляет 10,5 кН (рис. 7).

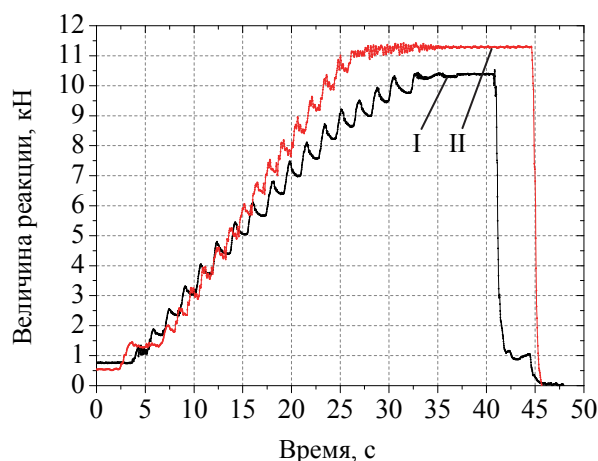


Рис. 7. Нагрузка на крюке базового трактора:  
I – нагрузка без установленного оборудования;  
II – нагрузка с установленным оборудованием

Установка оборудования полуприцепа лесовозного приводит к незначительному догрузу задней оси трактора на 910 Н при массе оборудования 18 кН. Это связано с рациональной компоновкой оборудования и полуприцепа, при которой значительная часть нагрузки приходится на балансирующую тележку [11].

Машина для транспортировки лесосечных отходов оснащается гидроманипулятором ГМ-42 со специальным захватом, имеющим отличающуюся от захвата для погрузки сортиментов кинематику, что привело к изменению действующих на захват сил. Их определение производилось путем регистрации гидравлических параметров гидросистемы технологического оборудования. С этой целью использовался прибор для определения параметров гидросистемы в составе: гидравлический расходомер SCFT 600-02-02, датчик давления с возможностью изменения температуры рабочей жидкости и диагностического прибора The Parker Service Master Plus. Определены зависимости давления и расхода рабочей жидкости от частоты вращения двигателя, а также давление настройки клапанов распределителя при  $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$ , представленные в табл. 2.

Таблица 2  
**Гидравлические параметры привода технологического оборудования с установленным специализированным захватом для погрузки лесосечных отходов**

| * Зависимость давления и расхода рабочей жидкости от частоты вращения двигателя трактора на холостом ходу ( $n_{в\text{ом}} 540/1000 \text{ мин}^{-1}$ ) |                         |                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| $n_{дв}, \text{мин}^{-1}$                                                                                                                                | $P, \text{МПа}$         | $Q, \text{л/мин}$            |
| 800                                                                                                                                                      | 0,24/0,72               | 25/41                        |
| 1000                                                                                                                                                     | 0,4/1,0                 | 32/50                        |
| 1200                                                                                                                                                     | 0,52/1,4                | 37/61                        |
| 1400                                                                                                                                                     | 0,74/1,85               | 44/73                        |
| 1600                                                                                                                                                     | 0,93/2,3                | 52/85                        |
| 1800                                                                                                                                                     | 1,13/2,7                | 58/94                        |
| 2000                                                                                                                                                     | 1,3/2,9                 | 65/99                        |
| Давление настройки клапанов распределителя при $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$                                                                          |                         |                              |
| Выполняемая операция ( $n_{в\text{ом}} = 540 \text{ мин}^{-1}$ )                                                                                         |                         | $P_{\text{max}}, \text{МПа}$ |
| Стрела                                                                                                                                                   | Подъем                  | 19,5                         |
|                                                                                                                                                          | Опускание               | 18,0                         |
| Рукоять                                                                                                                                                  | Подъем                  | 19,5                         |
|                                                                                                                                                          | Опускание               | 14,0                         |
| Колонна                                                                                                                                                  | Поворот вправо / влево  | 17,5                         |
| Ротатор                                                                                                                                                  | Вращение вправо / влево | 18,0                         |
| Захват                                                                                                                                                   | Открытие / закрытие     | 20,0                         |

\* Указанные параметры получены при установленном насосе GR.3/36 DX с мультипликатором НМ 30/3,5-РМ.

В процессе определения гидравлических параметров манипулятора была также вычислена его грузоподъемность (рис. 8).

На оборотах двигателя трактора  $n_{дв} = 1200 \text{ мин}^{-1}$  манипулятор развивает грузоподъ-

емность 4,6 кН, при этом давление в гидросистеме возрастает до 16 МПа, а расход рабочей жидкости составляет 25 л/мин. Увеличение оборотов двигателя до  $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$  приводит к возрастанию грузоподъемности до 5,2 кН, давления – до 16,6 МПа, расхода рабочей жидкости – до 37 л/мин. На оборотах двигателя  $n_{дв} = 1800 \text{ мин}^{-1}$  грузоподъемность поднимается до 5,45 кН, но возрастает и давление до 17,5 МПа и расход рабочей жидкости до 57 л/мин. На максимальных оборотах двигателя  $n_{дв} = 2100 \text{ мин}^{-1}$  реализуется максимальная грузоподъемность, которая составила 6,09 кН при давлении в гидросистеме 18,6 МПа и расходе рабочей жидкости 68 л/мин.

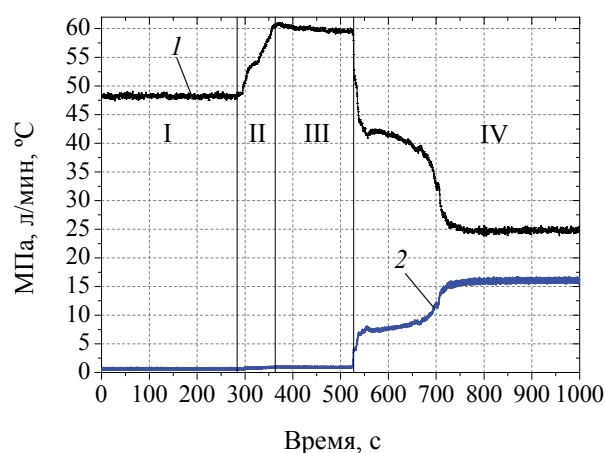
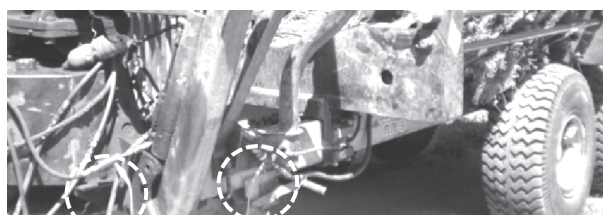


Рис. 8. Изменение гидравлических параметров при определении грузоподъемности:  
1 – кривая изменения расхода гидравлической жидкости; 2 – кривая изменения давления гидравлической жидкости;  
I – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров на холостых оборотах ( $n_{дв} = 800 \text{ мин}^{-1}$ ); II – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров при увеличении оборотов двигателя до ( $n_{дв} = 1200 \text{ мин}^{-1}$ ); III – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров на рабочих оборотах ( $n_{дв} = 1200 \text{ мин}^{-1}$ ); IV – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров в нагрузочном режиме работы манипулятора

При транспортировке лесосечных отходов важным условием является увеличение рейсовой нагрузки за счет их уплотнения [12–14]. Уплотнение лесосечных отходов в оборудовании полуприцепа лесовозного осуществляется гидроуправляемыми бортами. В связи с этим для определения эффективности уплотнения лесосечных отходов определялось давление в поршневой и штоковой полостях гидроуправляемых бортов (рис. 9).



а



б



в

Рис. 9. Определение давления в гидроуправляемых бортах:  
а – общий вид подключения датчиков к гидросистеме;  
б – датчик давления и переходник;  
в – датчик давления P8AP фирмы NBM

При проведении экспериментальных исследований по эффективности уплотнения лесосечных отходов гидроуправляемыми бортами установлено, что давление гидросистемы в поршневой полости гидроцилиндров поднималось до 21 МПа, а в штоковой – до 16 МПа (рис. 10).

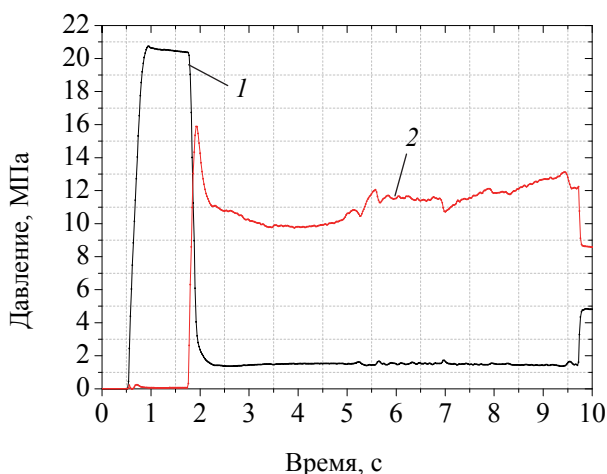


Рис. 10. Давление в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндров управления бортов:  
1 – давление, создаваемое в штоковой полости;  
2 – давление, создаваемое в поршневой полости

При этом борты закрывались симметрично либо поочередно, в зависимости от действующей на них нагрузки [15]. Это связано с нерав-

номерностью загрузки гидроуправляемых бортов лесосечными отходами по объему и несовершенством кинематики их работы. Борт, реализующий меньшее усилие на уплотнение лесосечных отходов, закрывался быстрее. В случае выравнивания сопротивлений, действующих на борты, происходило их симметричное закрытие. На основе полученных зависимостей установлено, что в процессе уплотнения лесосечных отходов возникают периодические пиковые сопротивления в штоковой полости, приводящие к снижению эффективности уплотнения лесосечных отходов. Данный недостаток может возникать в виду неправильной регулировки клапанов распределителя или их заедании.

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования позволили установить эффективность транспортировки лесосечных отходов при различных вариантах их загрузки, а также определить опорные реакции под колесами опытного образца. Так, погрузка лесосечных отходов с открытыми бортами и последующим их уплотнением путем закрытия бортов позволяет увеличить рейсовую нагрузку транспортировщика в среднем в 3,06 раза при установленном давлении в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндров 21 МПа и 16 МПа соответственно. Определена величина, приходящаяся на крюк базового трактора с установленным технологическим оборудованием для транспортировки лесосечных отходов и без. При этом с установленным оборудованием задняя ось трактора догружается на 8% от общей массы полуприцепа в порожнем состоянии, что достигается рациональной компоновкой оборудования. Установлена зависимость давления и расхода рабочей жидкости от частоты вращения двигателя трактора на холостом ходу, а также определено давление настройки клапанов распределителя при  $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$  при выполнении отдельных технологических операций. Экспериментальными исследованиями установлено, что на величину грузоподъемности гидроманипулятора существенное влияние оказывает частота вращения коленчатого вала. Так, при увеличении оборотов двигателя базового трактора с номинальных до максимальных грузоподъемность технологического оборудования возрастает на 45%. При этом давление возрастает на 16,3%, а расход увеличивается более чем в 2,5 раза. С ростом оборотов коленчатого вала двигателя давление рабочей жидкости гидросистемы и грузоподъемность технологического оборудования повышаются по причине увеличения реализуемой мощности двигателя на входном валу насоса.

## 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: учеб. пособие. 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. Тракторы промышленные. Методы испытаний: ГОСТ 23734-98. Введ. 07.01.2000. М.: Изд-во стандартов, 2000. 19 с.
5. Машины землеройные. Методы измерений масс машин в целом, рабочего оборудования и составных частей: ГОСТ ISO 6016-2014. Введ. 01.01.2016. М.: Госстандарт: БелГИСС, 2015. 9 с.
6. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / С. П. Мохов [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 26–28 апр. 2017 г. С. 178–181.
7. Анализ конструктивных особенностей машин для сбора лесосечных отходов / Д. А. Кононович [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 31–35.
8. Пищов С. Н. Результаты экспериментальных исследований устойчивости автомобиля МАЗ повышенной проходимости // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 47–48.
9. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. Минск: Технопринт, 2002. 479 с.
10. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья. М.: Экология, 1991. 288 с.
11. Оценка тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины в реальных условиях эксплуатации / Коробкин В. А. [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 36–39.
12. Машины землеройные. Методы определения размеров машин с рабочим оборудованием: ГОСТ 27256-87. Введ. 01.01.1988. М.: Изд-во стандартов, 1987. 9 с.
13. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы оценки приспособленности к техническому обслуживанию: ГОСТ 26026-83. Введ. 01.01.1984. М.: Изд-во стандартов, 1984. 12 с.
14. Машины сельскохозяйственные. Погрузчики. Методы испытаний: ГОСТ 28286-89. Введ. 30.06.1990. М.: Изд-во стандартов, 1990. 14 с.
15. Кононович Д. А. Технологии очистки лесосек от лесосечных отходов // Труды БГТУ. 2017. № 2: Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 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 lesosiecznykh 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 lesosiecznykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1990. 392 p.
4. GOST 23734-98. Industrial tractors and bulldozers. Test methods. Moscow, Standartinform Publ., 2000, 19 p. (In Russian).
5. GOST ISO 6016-2014. Earth-moving machinery. Methods of measuring the masses of whole machines, their equipment and components. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 9 p. (In Russian).
6. Mokhov S. P., Korobkin V. A., Golyakevich S. A., Kononovich D. A. Perspective complex machines for collection and transportation logging waste. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. («Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya»)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference ("Logging industry: problems and solutions")]. Minsk, 2017, pp. 178–181 (In Russian).
7. Kononovich D. A., Mokhov S. P., Simanovich V. A., Ariko S. Ye. Analysis of structural features of machines for collection forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 31–35 (In Russian).
8. Pishchov S. N., Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Man'ko A. V. The results of experimental studies of the stability of the MAZ of high cross-country capability. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 47–48 (In Russian).
9. Matveyko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosiecznykh 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., Ariko S. Ye., Golyakevich S. A. Assessing the traction characteristics of loading and transport machines in real conditions of exploitation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 36–39 (In Russian).
12. GOST 27256-87. Earth-moving machinery. Methods of measuring the dimensions of whole machines with their equipment. Moscow, Standartinform Publ., 1987. 9 p. (In Russian).
13. GOST 26026-83. Agricultural and forestry machines and tractors. Evaluation methods of fitness to technical servicing. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 10 p. (In Russian).
14. GOST 28286-89. Agricultural machinery. Loaders. Methods of testing. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 14 p.
15. Kononovich D. A. Technologies cleaning cutting areas from logging waste. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 245–250 (In Russian).

### **Информация об авторе**

**Кононович Денис Александрович** – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: denkon\_92@mail.ru

### **Information about the author**

**Kononovich Denis Aleksandrovich** – PhD student, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: denkon\_92@mail.ru

*Поступила 19.10.2018*

УДК 339.9:658:630

**С. А. Голякевич, А. Р. Гороновский, С. П. Мохов**  
Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ФОРВАРДЕРА  
В MATLAB / SIMULINK / SIMSCAPE**

В статье приводятся результаты анализа работы манипулятора Kesla Forestry 600-1, установленного на форвардер Амкодор 2661-01. При проведении исследований была использована имитационная модель манипулятора и его привода. Модель предварительно разработана в среде MatLab/Simulink/Simscape. Детально проанализированы режимы работы манипулятора, возникающие в процессе работы давления, расходы гидравлической жидкости, перемещения исполнительных элементов. В статье отмечены недостатки отсутствия регулирования гидравлического привода, а также особенности регулирования привода системой управления Load Sensing. Данные, приведенные в статье, соответствуют выполнению операции погрузки сортиментов при совместном движении гидроцилиндра стрелы и телескопического звена. Подробно изложены исходные данные моделирования, 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 использованию способов регулирования гидропривода манипулятора.

**Ключевые слова:** форвардер, модель, режим, операция, манипулятор, привод, управление.

**S. A. Golyakevich, A. R. Goronovsky, S. P. Mokhov**  
Belarusian State Technological University

**RESULTS OF IMITATION MODELING HYDRAULIC SYSTEM  
FOR FORWARDER IN MATLAB / SIMULINK / SIMSCAPE**

The article presents the results of the analysis of the operation of the Kesla Forestry 600-1 manipulator installed on the forwarder Amkodor 2661-01. When conducting research, a simulation model of a manipulator and its drive was used. The model was previously developed in the MatLab / Simulink / Simscape environment. The operation modes of the manipulator arising in the course of pressure operation, the flow of hydraulic fluid, and the movement of actuators are analyzed in detail. The article points out the shortcomings of the lack of regulation of a hydraulic drive, as well as features of drive control by the Load Sensing control system. The data given in the article correspond to the execution of the loading operation of the assortment with the joint movement of the hydraulic cylinder of the boom and the telescopic link. The basic simulation data is described in detail, the drive is considered to operate at idle mode of the engine, at the nominal crankshaft speed and at its intermediate values. The modeling was performed taking into account the dynamics of opening of safety valves of the hydraulic system, hydraulic distributors, inertia of movement of the links of the manipulator and their damping properties. The article concludes with recommendations on the use of methods for regulating the manipulator hydraulic drive.

**Key words:** forwarder, model, mode, operation, manipulator, drive, control.

**Введение.** Моделирование работы многооперационных лесозаготовительных машин является неотъемлемой частью процесса их проектирования [1–8]. Современные программные комплексы автоматизации инженерных расчетов (CAE-системы) позволяют моделировать кинематику, статику и динамику работы, оценивать прочность и усталостную долговечность конструкций технологического оборудования, элементов шасси и машин в целом. Внедрение в конструкцию машин современных систем автоматизированного управления привело к не-

обходимости моделирования не только отдельных конструкций машин, но и элементов управления их приводом [9–12].

Решить такую задачу можно только путем междисциплинарного моделирования. Для реализации компьютерных имитационных моделей механизмов и их приводов известно множество прикладных программ. Наиболее используемые среди них MathCAD, MSC Software Easy5; MatLab с пакетом приложений Simulink/Simscape и многие др. Данные программные пакеты значительно отличаются подходами к

моделированию. Так, моделирование в пакете MathCAD осуществляется путем непосредственной записи математических выражений, описывающих гидравлическую схему. Пакет отличается возможностью высокой детализации привода, однако требует существенных затрат времени на моделирование.

Принцип моделирования гидропривода, отличный от рассмотренного выше, предлагается в среде MatLab с пакетом приложений Simulink / Simscape. Моделирование в нем осуществляется путем создания блок-схем. Отдельные блоки представляют собой элементы гидросистем: гидронасосы, распределители, гидромоторы, клапаны, золотники, дроссели и другие, а также элементы управления ими. Каждый блок строго параметризован и предлагает указать соответствующие данные для компонентов. Математическое описание имитационной модели в Simulink / Simscape остается доступным только на языке MatLab (близок к C++). Внедрение собственных компонентов можно осуществлять в Simulink или непосредственно через MatLab Script.

Особое внимание представляет возможность использования вышеотмеченных программных пакетов в комплексе с программными пакетами трехмерного моделирования и конечно-элементного анализа. Такой подход позволяет создать не только привод в отдельности а совместить его с механической моделью оборудования. В рамках данной статьи рассмотрим модель привода стрелы манипулятора форвардера Амкодор 2661-01 с учетом режимов работы ДВС, реализованную в Simscape (рис. 1).

**Основная часть.** На форвардере установлен манипулятор Kesla Foresteri 600-1 с техническими характеристиками, приведенными в таблице.

**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     |

Манипулятор оборудован гидроцилиндром подъема стрелы с рабочим диаметром гильзы 110 мм, диаметром штока 70 мм и ходом поршня 688 мм. Гидроцилиндр привода телескопического звена имеет следующие технические характеристики: диаметр гильзы – 50 мм, диаметр штока – 30 мм и ход поршня – 2050 мм. Рабочее давление в гидросистеме создается аксиально поршневым регулируемым насосом Sauer Danfoss FRL-074B с объемной подачей 74 см<sup>3</sup>/об, номинальным и максимальным рабочим давлением 31 МПа и 40 МПа. Привод оборудован 6-секционным гидрораспределителем Sauer Danfoss PVG32 с EHPC type1. Минимальная, номинальная и максимальная частоты вращения входного вала гидронасоса составляют соответственно 500 об/мин, 2400 об/мин и 2800 об/мин.

Гидравлический насос технологического оборудования 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).

Для проведения последующего энергетического анализа была смоделирована операция погрузки сортиментов манипулятором. Начальное и конечное положения манипулятора приведены на рис. 1. Базовая система координат расположена в точке крепления опоры колонны манипулятора к площадке технологической полурамы на ее центральной вертикальной оси.

При моделировании рассматривался способ перемещения рабочего органа из положения *a* в положение *b* (рис.1) путем совместного одновременного начала перемещения стрелы и телескопа. В качестве допущения в модели пренебрегалось инерционной составляющей вращательного движения сортимента. Его масса вместе с массой ротатора и рейферного захвата сосредоточена в точке подвеса ротатора к телескопическому звену рукояти.

Траектория движения рабочего органа манипулятора при осуществлении данного движения приведена на рис. 1, *в*. В первом случае не рассматривалось регулирование гидравлического насоса подсистемой LS (Load sensing) [13–18], а открытие подающих клапанов гидрораспределителя ограничивалось величиной проходного сечения золотников  $4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ . Частота вращения входного вала гидронасоса составляла 2394 об/мин, что соответствовало частоте вращения коленчатого вала двигателя 2100 об/мин. Масса поднимаемого сортимента составляла 740 кг, что соответствует сосновому сортименту длиной 6 м, диаметром 44 см.

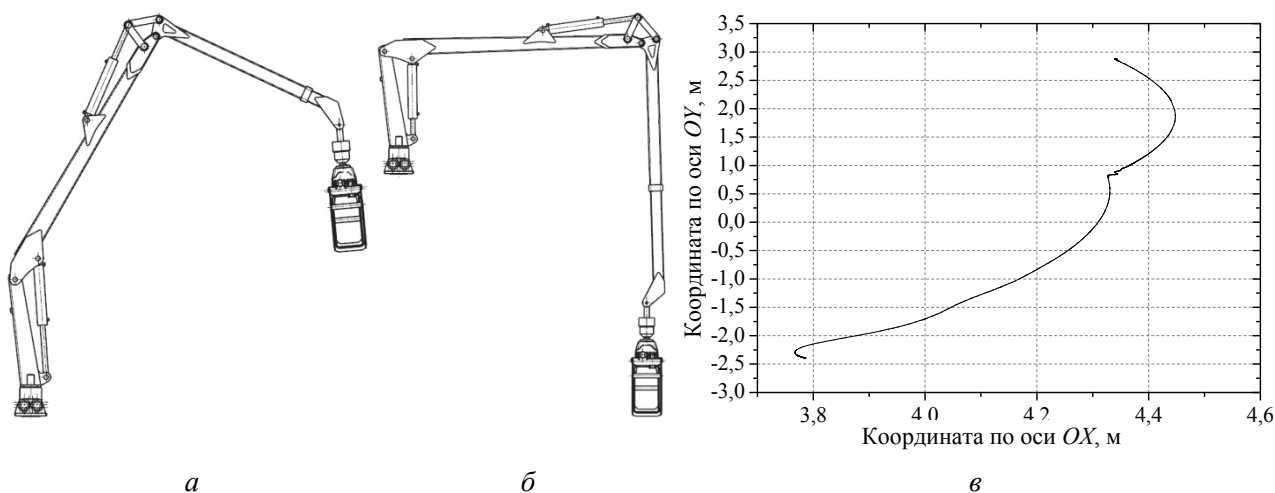


Рис. 1. Моделируемая операция манипулятора:  
*а* – конечное положение; *б* – начальное положение; *в* – траектория движения

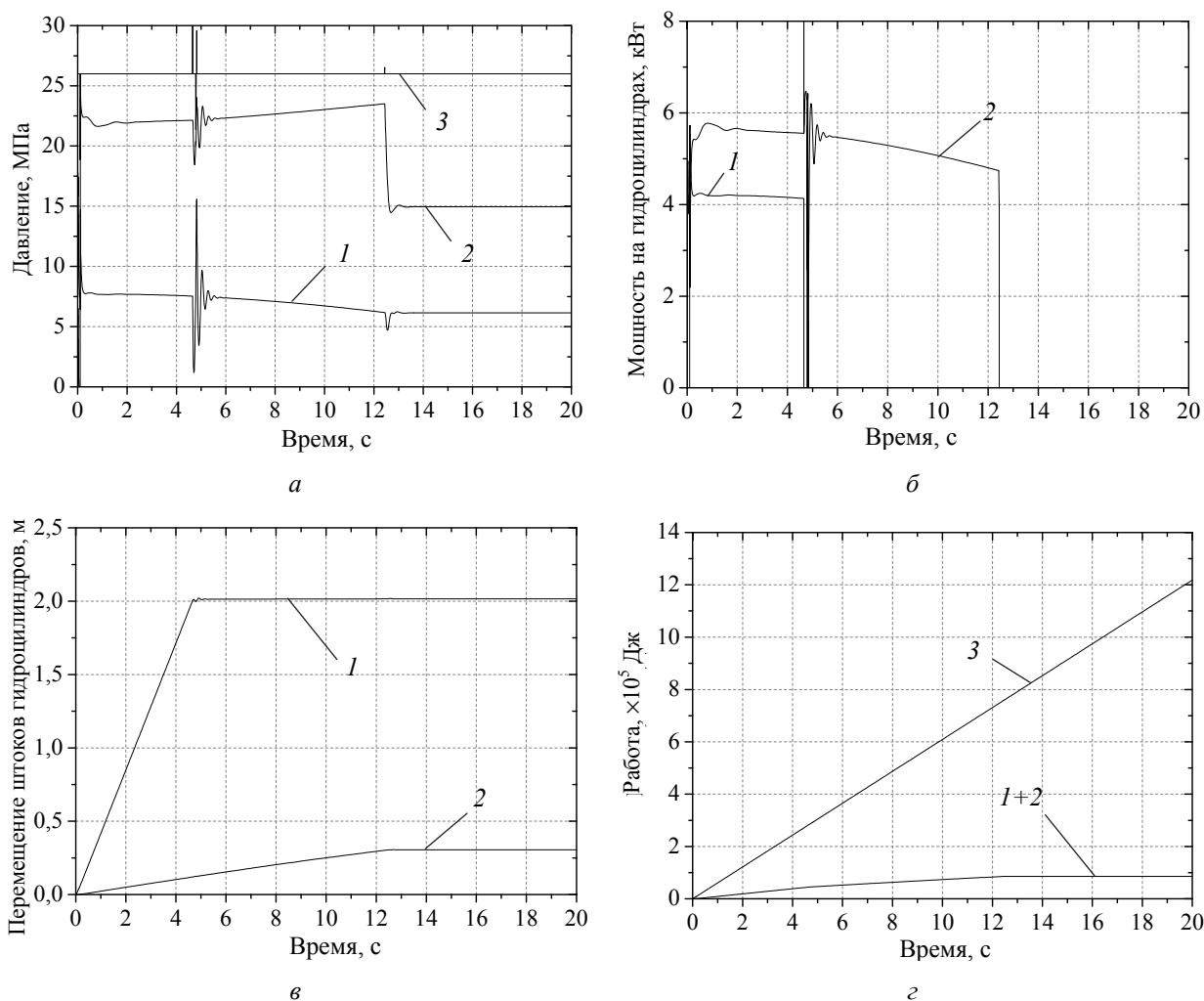


Рис. 2. Выходные характеристики работы гидроцилиндров и гидропривода:  
*а* – давление; *б* – реализуемая мощность; *в* – перемещение штоков; *г* – выполненная работа;  
 1 – гидроцилиндр телескопического звена; 2 – гидроцилиндр стрелы; 3 – подающая магистраль гидросистемы

Режим выполнения операции рассмотрен для номинальной подачи гидравлического насоса (регулирование насоса исключено). Время

выполнения операции на данном режиме 12,4 с. При этом реализуется полная мощность привода – 61 кВт, а непосредственно гидроцилинд-

рами стрелы и телескопа суммарно до 10 кВт. Требуемый крутящий момент на входном валу гидронасоса составил 243 Н·м, что в 2,14 раза меньше номинального момента по внешней скоростной характеристике (ВСХ) двигателя.

Выполненная гидронасосом полная работа и суммарная работа гидроцилиндров составляют 757,9 кДж и 85,6 кДж соответственно, т. е. отличаются в 8,85 раза. Полезная работа по поднятию сортирента манипулятором составляет 37,9 кДж. Это означает, что «кинематический» КПД манипулятора 0,44. Регулирование привода по принципу LS позволяет несколько снизить полную работу, выполняемую гидронасосом. В данном случае полная работа привода за 12,4 с составляет 629,1 кДж, что в 1,2 раза ниже нерегулируемого привода, однако в 7,34 раза больше работы, суммарно реализованной гидроцилиндрами.

Причиной низкой эффективности регулирования привода при данном режиме выполнения операции является существенная разница в возникающих в гидроцилиндрах стрелы и телескопа давлениях и близость первого из них (около 22,5 МПа) к номинальной величине давления в гидросистеме (26 МПа).

Более эффективным в данном случае является регулирование за счет снижения частоты вращения коленчатого вала (ЧВКВ) двигателя. Так, при частоте 1600 об/мин полная работа гидросистемы снижается до 531 кДж, а с учетом управления LS – до 432,6 кДж. При этом время выполнения операции остается неизменным, а, согласно ВСХ двигателя, удельный расход топлива достигает своих минимальных значений (около 210 гр·кВт/ч). Указанная операция может быть выполнена при более низкой ЧВКВ. Так, при ЧВКВ, равной 1100 об/мин, полная работа гидросистемы 303,5 кДж, а с управлением LS – 242 кДж. При подключении управления LS время выполнения операций незначительно возрастает до 12,6 с. Снижение ЧВКВ до величины холостого хода также обес-

печивает выполнение рассматриваемой операции. Величины выполняемых работ соответственно равны (221 кДж без управления LS и 186,2 кДж с управлением LS). Однако время выполнения операции возрастает до 13,1 с и 14 с соответственно.

Эффективность использования режимов регулирования с учетом возрастания времени выполнения операций должна дополнительно обосновываться на основе критерия максимальной реализации энергетического потенциала машины [7, 9, 11]. Так, величина удельного энергетического потенциала производительности машины в последнем из рассмотренных случаев минимальна и равна 68,78 с. Для сравнения, в том же случае без регулирования LS – 76,38 с, а при ЧВКВ 1600 об/мин с регулированием LS – 80,75, а без – 99,29 с.

**Заключение.** На основе изложенного можно сделать следующие заключения. При совместной работе нескольких гидравлических исполнительных механизмов эффективность регулирования их привода по нагрузке (LS) тем ниже, чем больше разница в давлениях в этих механизмах и меньше разница в номинальном давлении в гидросистеме и давлении на наиболее нагруженном исполнительном механизме.

В этой связи обособленное управление гидросистемой по нагрузке (LS) на многооперационных лесных машинах, способных выполнять операции над предметом труда не последовательно, а параллельно, совмещая одновременно работу двух и более исполнительных механизмов, следует считать не достаточно эффективным. Более эффективным нужно признать совместное регулирование работы двигателя и гидравлической системы либо иное, не зависящее от нагрузки распределение потока гидравлической жидкости.

Окончательное решение о режимах работы привода должно приниматься на основе анализа реализации энергетического потенциала машины.

### 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 несущих конструкций многооперационных лесных машин выбором режимов работы на основе энергетического потенциала: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. 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 // Journal. 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, 1986. 296 с.

7. Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Эффективность работы многооперационных лесозаготовительных машин с учетом ограничивающих факторов // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообработка. пром-сть. С. 8–11.
8. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.21.01. Л., 1987. 315 с.
9. Голякевич С. А. Комплексная техническая оценка потребительских качеств лесных машин // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработка. 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. New York, 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 (184): Лесная и деревообработка. пром-сть. С. 15–19.
12. Drive and Control Systems for Forestry Machines. From the Gear Pump to Electronic Harvester Management [Electronic resource]. Boschrexroth. Mode of access: [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]. Mode of access: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:277303>. Date of access: 18.05.2012.
15. An Interactive Simulation System for Modeling Stands, Harvests, and Machines / J. Wang [et al.] / 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. Elchingen. February 2003. S. 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, no. 03-206, November 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. *Journal 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., Goronovskiy A. R. Efficiency of multi-operation logging machines taking into account limiting factors. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 8–11 (In Russian).
8. Zhukov A. V. *Teoreticheskiye osnovy vybora tekhnicheskikh parametrov i uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv spetsial'nykh lesnykh mashin. Avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk* [Theoretical bases of a choice of technical parameters and improvement of operational properties of special forest machines. Abstract of thesis doct. techn. sci.]. Leningrad, 1987. 315 p.
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*. New York, 2017, no. 5, pp. 463–471.
11. Golyakevich S. A., Goronovsky A. R., Mokhov S. P. Methodology for assessing the technical characteristics of forwarders at the design stage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 15–19 (In Russian).
12. Drive and Control Systems for Forestry Machines. From the Gear Pump to Electronic Harvester Management [Electronic resource]. Boschrexroth. 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. Department of Machine Design Royal Institute of Technology. 2009 [Electronic resource]. Available at: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:277303> (accessed 18.05.2012).
15. Wang J. 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. Elchingen*. February 2003. S. 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*, no. 03-206, November 1992. 28 p.

#### Информация об авторах

**Голякевич Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

**Гороновский Андрей Романович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства, проректор по воспитательной работе. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: arg@belstu.by

**Мохов Сергей Петрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

#### Information about the authors

**Golyakevich Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gsa@belstu.by

**Goronovsky Andrey Romanovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology, Vice-Rector for Educational Work. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: arg@belstu.by

**Mokhov Sergey Petrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Departments 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 20.10.2018

# ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

УДК 684.59

**А. А. Баргашевич, Л. В. Игнатович, С. В. Шетько**

Белорусский государственный технологический университет

## СТОЙКОСТЬ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ К ПЯТНООБРАЗОВАНИЮ

На элементы столярно-строительных деталей и мебели, полученные из древесины мягколиственных пород с использованием тиснения, крашения и отделки, в процессе эксплуатации воздействуют различные физические нагрузки и факторы внешней среды. Все эти воздействия воспринимают в первую очередь лицевого лакокрасочные покрытия, которые определяют внешний вид и качество изделий. В связи с этим ставилась задача изучить влияние различных реагентов на эксплуатационные и физико-механические свойства лакокрасочных покрытий.

Приведены результаты исследований стойкости защитно-декоративных покрытий строительных деталей и деталей мебели из мягколиственных пород древесины к действию различных химических реагентов. Установлено, что на защитно-декоративные покрытия на основе водорастворимого лака марки «МАН» ВД-АК 1941 наиболее неблагоприятное действие оказывает губная помада, а затем (по мере ослабления действия) кофе натуральный и уксусная кислота. Материал лакокрасочного покрытия через некоторое время после нанесения реагента вступает с ним в реакцию. На поваренную соль лакокрасочное покрытие не реагирует и внешнего вида не меняет.

**Ключевые слова:** защитно-декоративное покрытие, лак, пятнообразование, реагенты, стойкость.

**A. A. Bartashevich, L. V. Ignatovich, S. V. Shet'ko**

Belarusian State Technological University

## DURABILITY OF PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS TO FIFTING

The elements of joinery and construction parts and furniture, obtained from softwood, using stamping, dyeing and finishing, in the process of operation are affected by various physical activities and environmental factors. All these effects perceive primarily facial paint coatings, which determine the appearance and quality of products. In connection with this, the task was set to study the effect of various reagents on the operational and physico-mechanical properties of paint and varnish coatings.

The results of studies of the resistance of protective-decorative coatings of building parts and furniture parts of soft-leaved wood to the action of various chemical reagents are presented. It has been established that protective and decorative coatings based on a water-soluble varnish of the "MAN" brand VD-AK 1941 are most adversely affected by lipstick, and then (as the deactivation is weakened), natural and acetic acid coffee. The paintwork material after some time after the application of the reagent reacts with it. The paint does not react to table salt and does not change the appearance.

**Key words:** protective and decorative coating, varnish, stain formation, reagents, resistance.

**Введение.** Элементы столярно-строительных деталей и мебели, полученные из древесины мягколиственных пород с использованием тиснения [1–4], крашения и отделки, в процессе эксплуатации воспринимают различные физические нагрузки и воздействия разных факторов: внешней среды (климатические, эдафические, биологические, абиотические), влаги, тепла, многих жидкостей и пастообразных ве-

ществ химического характера и др. [5, 6]. Все перечисленные воздействия воспринимают в первую очередь материалы лицевого лакокрасочных покрытий, которые определяют внешний вид и качество изделий. В связи с этим ставилась задача провести лабораторные исследования по изучению влияния данных факторов на эксплуатационные и физико-механические свойства лакокрасочных покрытий изделий.

К эксплуатационным свойствам лакокрасочных покрытий отнесены:

- стойкость защитно-декоративных покрытий к пятнообразованию при воздействии различных химических реагентов;
- стойкость к воздействию воды;
- контактная теплостойкость защитно-декоративных покрытий;
- стойкость покрытий к истиранию.

К физико-механическим свойствам лакокрасочных покрытий отнесены:

- ударная прочность;
- твердость;
- эластичность пленки.

Отдельные физико-механические показатели лакокрасочных покрытий можно отнести и к эксплуатационным показателям (например, эластичность пленки лакокрасочного покрытия, с которой связаны внутренние напряжения, проявляющиеся в процессе эксплуатации изделий.) Точно также эксплуатационные свойства можно отнести к физико-механическим, так как они не только проявляются в процессе эксплуатации, но и являются физико-механической характеристикой состояния материала [5–9].

**Основная часть.** Стойкость защитно-декоративных покрытий к пятнообразованию определялась в соответствии с ГОСТ 27627-88 [10–15]. Метод определения стойкости покрытия к пятнообразованию основан на воздействии химических элементов на покрытия в течение определенного времени и визуальной оценке степени изменения качества покрытия.

Образцы изготавливались размером 300×80×18 мм из древесины ольхи. Определение стойкости покрытия к пятнообразованию проводилось на образцах, вырезанных из деталей, изготовленных из тех же материалов, что и детали изделия. Испытывались образцы размером, кратным числу используемых реагентов. Размер контролируемой поверхности должен быть не менее 75×75 мм.

Допускаются кратные размеры образцов, т. е. на одном образце одновременно испытывалось действие одного реагента при трех значениях продолжительности его действия. Для испытаний пяти реагентов использовали 5 образцов, а каждый опыт повторялся три раза, т. е. всего использовалось 15 образцов.

Образцы отделялись испытуемым лаком на водной основе марки «МАН» ВД-АК1941 в два нанесения. Расход лака принимался из расчета 150 г/м<sup>2</sup>.

В качестве химических реагентов применялись: соль каменная поваренная пищевая, 10%-ный раствор (СТБ 1828-2008), кофе натуральный жареный (4 г на 100 см<sup>3</sup> воды), вино виноградное красное (ГОСТ 7208-93), кислота

уксусная (9%-ный раствор, СТБ 1760-2007), губная помада (ГОСТ 31649-2012).

Испытания проводились при продолжительности выдержки реагентов: сначала 6 ч, затем 16 и 24 ч.

Перед началом испытаний образцы кондиционировали трое суток при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 60–65%, затем тщательно протирали сухой тканью.

Нанесение реагентов на испытуемую поверхность осуществляли следующим образом. Образцы устанавливали в горизонтальном положении. Кружочки фильтровальной бумаги (ГОСТ 12026-76) диаметром 25 мм погружали в соответствующий реагент на 30 с, затем их извлекали и удаляли излишнюю жидкость и размещали на испытуемую поверхность (от края на расстоянии не менее чем 40 мм и друг от друга – не менее чем 60 мм) и накрывали чашками.

Губную помаду наносили на испытуемый образец непосредственно и чашками не накрывали.

По истечении времени испытания чашки снимали, оставшуюся жидкость осушали мягкой тканью, не допуская трения ее об испытуемую поверхность. После этого образцы выдерживали в открытом состоянии 24 ч. Затем их протирали тканью, смоченной раствором моющего средства, а затем водой и тщательно вытирали сухой тканью.

После выдержки в течение 30 мин визуально оценивали покрытие, при этом участок покрытия, который был подвергнут испытанию, сравнивали с участком, который не подвергался воздействию реагентов.

Оценка покрытия производилась на расстоянии 0,25 м от поверхности под углом 30–60 град. Оценка результатов испытаний проводилась по 5-балльной системе:

- 1 балл – видимые изменения отсутствуют;
- 2 балла – едва заметное изменение блеска или цвета;
- 3 балла – изменение блеска или цвета незначительное, а структура покрытия изменений не имеет;

4 балла – четко различимое изменение блеска или цвета, а структура покрытия изменена незначительно;

5 баллов – четко различимые изменения блеска или цвета, а структура испытуемого покрытия заметно изменена или разрушена.

Если разница в баллах имела хотя бы на одном образце, проводили повторное испытание.

В этом случае оценку в баллах испытуемого образца принимали по нижнему пределу полученного результата.

Итоги испытаний определения стойкости к пятнообразованию защитно-декоративных покрытий на древесине сведены в таблицу.

**Результаты испытаний стойкости натуральной древесины ольхи и лакокрасочных покрытий  
от воздействия химических реагентов**

| Вид химического реагента                 | Материал лицевой поверхности | Оценка в баллах при продолжительности воздействия химического реагента, ч |    |    |
|------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----|----|
|                                          |                              | 6                                                                         | 16 | 24 |
| 1                                        | 2                            | 3                                                                         | 4  | 5  |
| Соль поваренная пищевая, 10%-ный раствор | Лак «МАВ» ВД-АК 1941         | 1                                                                         | 1  | 1  |
| Соль поваренная пищевая, 10%-ный раствор | Древесина ольхи              | 2                                                                         | 2  | 2  |
| Вино красное                             | Лак «МАВ» ВД-АК 1941         | 2                                                                         | 2  | 2  |
|                                          | Древесина ольхи              | 3                                                                         | 3  | 3  |
| Кофе натуральный                         | Лак «МАВ» ВД-АК 1941         | 2                                                                         | 2  | 2  |
|                                          | Древесина ольхи              | 3                                                                         | 3  | 3  |
| Масло подсолнечное                       | Лак «МАВ» ВД-АК 1941         | 1                                                                         | 1  | 1  |
|                                          | Древесина ольхи              | 2                                                                         | 2  | 2  |
| Кислота уксусная (9%-ный раствор)        | Лак «МАВ» ВД-АК 1941         | 1                                                                         | 1  | 1  |
|                                          | Древесина ольхи              | 2                                                                         | 2  | 2  |
| Губная помада                            | Лак «МАВ» ВД-АК 1941         | 1                                                                         | 1  | 1  |
|                                          | Древесина ольхи              | 4                                                                         | 4  | 4  |

**Заключение.** При воздействии химических реагентов на лакокрасочное покрытие материал последнего через некоторое время вступает с ними в химическую реакцию (вино, кофе) или на них не реагирует (поваренная соль, масло подсолнечное,

кислота уксусная, губная помада). Чистая древесина ольхи окрашивается в результате воздействия на нее всех использованных реагентов, при этом наиболее сильно губной помадой. Измененный цвет ольхи ничем не восстанавливается.

### Литература

1. Декорирование элементов мебели и столярно-строительных изделий методом тиснения текстуры древесины и имитацией резьбы / Барташевич А. А. [и др.] // Труды БГТУ. 2018. № 2: Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 197–204.
2. Горячее тиснение по дереву [Электронный ресурс] / <http://dekordrev.by/stati/2015-03-18/povaaya-zapis> (дата обращения: 09.10.18).
3. Зайдес С. А., Шерстнева Е. Ю. Влияние влажности древесины на способность к деформированию при локальном нагружении // Дизайн. Теория и практика. 2016. № 23. С. 57–67.
4. Федосенко И. Г. Физические и механические свойства древесины, термически модифицированной в органических маслах // Труды БГТУ. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть, 2012. С. 151–153.
5. Эдафические и абиотические факторы среды [Электронный ресурс] / <https://students-library.com/ua/library/read/55708-edaficeskie-i-bioticeskie-factory-sredy> (дата обращения: 09.10.18).
6. Экологические абиотические факторы среды [Электронный ресурс] / [https://studopedia.su/15\\_103595\\_ekologicheskie-abioticheskie-faktori-sredi-klimaticheskie-geograficheskie-gidrologicheskie-edaficheskie-pochvennie.html](https://studopedia.su/15_103595_ekologicheskie-abioticheskie-faktori-sredi-klimaticheskie-geograficheskie-gidrologicheskie-edaficheskie-pochvennie.html) (дата обращения: 09.10.18).
7. Кирилина А. В. Технология декоративной отделки поверхности древесины холодным тиснением: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2017. 20 с.
8. Кирилина А. В., Ветошкин Ю. И. Различия и особенности горячего и холодного тиснения древесины // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды Междунар. Евразийского симпозиума. Екатеринбург: УГЛУ, 2014. С. 73–77.
9. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология производства мебели и столярно-строительных изделий. Минск: БГТУ, 2017. 241 с.
10. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения стойкости защитно-декоративных покрытий к пятнообразованию: ГОСТ 27627-88. Введ. 01.01.90. М.: М-во лесной, целлюлозно-бумажной и деревообраб. пром-сти, 1988. 12 с.
11. Справочник мебельщика / под ред. В. П. Бухтиярова. М.: МГУЛ, 2005. 600 с.
12. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М.: Лесная пром-сть, 1989. 294 с.

13. Барташевич А. А., Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2015. 437 с.
14. Барташевич А. А., Трофимов С. П. Конструирование мебели: учебник. Минск: Совр. шк., 2006. 335 с.
15. Рыбин Б. М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий для древесины и древесных материалов: учебник. М.: МГУЛ, 2003. 320 с.

### References

1. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V., Haiduk S. S. Decorating elements of furniture and carpentry-building products by embossing wood texture and imitating carving. *Trudy BSTU* [Proceedings of BSTU], 2018, no. 2: Forestry, Environmental Management and Processing of Renewable Resources, pp. 197–204 (In Russian).
2. Hot stamping on wood [Electronic resource]. Available at: / <http://dekordrev.by/stati/2015-03-18/novaya-zapis> (accessed 09.10.18).
3. Zaides S. A., Sherstneva E. Yu. Effect of wood moisture on the ability to deform under local loading. *Dizayn. Teoriya i praktika* [Design. Theory and practice], 2016, no. 23, pp. 57–67 (In Russian).
4. Fedosenko I. G. Physical and mechanical properties of wood thermally modified in organic oils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 151–153 (In Russian).
5. Edaphic and abiotic environmental factors. [Electronic resource]. Available at: <https://students-library.com/ua/library/read/55708-edaficeskie-i-bioticeskie-factory-sredy> (accessed 09.10.18).
6. Environmental abiotic environmental factors [Electronic resource]. Available at: [https://studopedia.ru/15\\_103595\\_ekologicheskie-abioticheskie-faktori-sredi-klimaticheskie-geograficheskie-gidrologicheskie-edaficheskie-pochvennie.html](https://studopedia.ru/15_103595_ekologicheskie-abioticheskie-faktori-sredi-klimaticheskie-geograficheskie-gidrologicheskie-edaficheskie-pochvennie.html) (accessed 09.10.18).
7. Kirilina A. V. *Tekhnologiya dekorativnoy otdelki poverkhnosti drevesiny kholodnym tisneniyem: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Technology of decorative finishing of the wood surface with cold stamping. Abstract of thess cand. of eng. sci.]. Ekaterinburg, 2017. 20 p.
8. Kirilina A. V., Vetoshkin YU. I. Difference and features of hot and cold wood embossing. *Trudy Mezhdunar. Evraziyskogo simpoziuma ("Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka")* [Proceedings of the international the Europice Simposium ("Woodworking: technologies, equipment, management of the XIII century")]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2014, pp. 73–77 (In Russian).
9. Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli i stolyarno-stroitel'nykh izdeliy* [Technology of production of furniture and carpentry products]. Minsk, BGTU Publ., 2017. 241 p.
10. GOST 27627-88. Details and products from wood and wood materials. Method for determining the resistance of protective and decorative coatings to stain formation. 01 01.90 was introduced. Moscow, Ministry of Forest, Pulp and Paper and Woodworking Industry Publ., 1988. 12 p. (In Russian).
11. Bakhtiyarov V. P. *Spravochnik mebel'shchika* [Directory of the furniture maker]. Moscow, MGUL Publ., 2005. 600 p.
12. Borovikov A. M., Ugolev B. N. *Spravochnik po drevesine* [Wood Handbook]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1989. 294 p.
13. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 437 p.
14. Bartashevich A. A., Trofimov S. P. *Konstruirovaniye mebeli* [Furniture design]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 437 p.
15. Rybin B. M. *Tekhnologiya i oborudovaniye zashchitno-dekorativnykh pokrytiy dlya drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and equipment of protective and decorative coatings for wood and wood materials]. Moscow, MGUL Publ., 2003. 320 p.

### Информация об авторах

**Барташевич Александр Александрович** – кандидат технических наук, почетный доктор, профессор, профессор кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: BAArch\_AABS@mail.ru

**Игнатович Людмила Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by

**Шетько Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [tidid@belstu.by](mailto:tidid@belstu.by)

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

**Bartashevich Alexander Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Honoris Causa, Professor, Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [BAArch\\_AABS@mail.ru](mailto:BAArch_AABS@mail.ru)

**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](mailto:ignatovich@belstu.by)

**Shet'ko Sergey Vasil'yevich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [tidid@belstu.by](mailto:tidid@belstu.by)

*Поступила 11.10.2018*

УДК 614.842

**Е. А. Пинчевская, А. Ю. Цапко**

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

Оптимизирован состав органической составляющей органоминеральной композиции огнезащитного покрытия древесины. Результаты показали, что при добавлении к основе ПВА-дисперсии полифосфата аммония, пентаэритрита и меламина в количестве 41% органоминеральная композиция характеризуется наибольшим коэффициентом вспучивания – более 20 и вязкостью по сравнению с композициями, содержащими основу в количестве 14 и 18%. Определено, что введение минеральных наполнителей в состав органоминеральной композиции в количестве 10% способствует повышению коэффициента вспучивания до 36,7. Введение в состав органоминеральной композиции  $\text{TiO}_2$  значительно повышает термическую устойчивость образованного пенококса.

**Ключевые слова:** древесина, покрытия, вспучивание, наполнители, оптимизация, устойчивость, огнезащита.

**Ye. A. Pinchevskaya, A. Yu. Tsapko**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

**OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF AN ORGANIC CONSTITUENT  
OF FIRE RETARDANT WOOD COVERING**

Receipt of an organic constituent of organic and mineral composition of wood fire retardant covering was optimized. The results showed that in case of addition of ammonium poly phosphate, pentaerythritol and melamine in the amount of 41% to poly vinyl acetate dispersion organic and mineral composition is characterized by the largest intumescence ratio exceeding 20 as well as higher viscosity compared with the compositions containing basic component in the amount of 14 and 18%. It was revealed that introduction of some mineral fillers to the receipt of the organic and mineral composition in the amount of 10% promotes rising intumescence ratio up to 36.7. Introduction of  $\text{TiO}_2$  to the receipt of the organic and mineral composition raises significantly thermal stability of the foam coke formed.

**Key words:** wood, coverings, intumescence, fillers, optimization, stability, fire retardant treatment.

**Введение.** Огнезащита древесины и изделий из нее путем нанесения на поверхность лаков, красок и эмалей является одним из профилактических средств горения [1]. Такая древесина в зависимости от эффективности покрытия и его толщины может классифицироваться как трудновоспламеняемая или трудногорючая. Более эффективными огнезащитными покрытиями являются вспучивающиеся покрытия, которые образуют барьер для теплопроводности [2, 3].

Защитные свойства покрытия определяются следующими параметрами: физико-химическими свойствами самого покрытия и прочностью сцепления (адгезией) с поверхностью защищаемого материала. Как правило, покрытие состоит из связующего и наполнителей, в результате чего его физико-химические свойства зависят от индивидуальных свойств и соотношения компонентов, входящих в состав [4, 5]. Решающее влияние на общие свойства покрытия оказывает взаимодействие связующего и наполнителей, поэтому правильный подбор

компонентов покрытия является важной задачей при разработке его рецептуры.

Особенность огнезащиты строительных конструкций заключается в создании на поверхности элементов конструкций теплоизолирующих экранов, выдерживающих высокие температуры и непосредственное действие огня, наличие которых позволяет замедлить прогревание материала и сохранить конструкции свои функции при пожаре в течение заданного периода времени, а также переводит древесину в разряд трудногорючих материалов [6, 7].

Простейшие высокотемпературные и огнезащитные средства на основе неорганических вяжущих материалов содержат в своем составе связанную воду, которая при нагревании испаряется и блокирует перенос тепла к защищаемой поверхности, где в качестве связки используют натриевое жидкое стекло, портландцемент, глиноземистый цемент, фосфатные и алюмосиликатные вяжущие [8–11]. Однако такие покрытия являются недолговечными и неэффективными, а также не обеспечивают достаточной адгезионной прочности, поскольку

имеют большой температурный коэффициент линейного расширения.

За последние годы из предложенного направления исследований известны работы, направленные на синтез покрытий с использованием органических лаков, тугоплавких оксидов и силикатов, которые в процессе нагревания образуют термо- и жаростойкие керамические фазы [12]. Наиболее распространены эмалевые и стеклокристаллические покрытия [13], однако они не могут обеспечить надежной защиты конструкций в условиях температур выше 1000°C, поскольку при более высоких температурах эксплуатации происходит разрушение органической составляющей, а нанесенное покрытие становится пористым, что значительно ухудшает его эксплуатационные свойства [14, 15].

Поэтому недостаточная определенность огнезащиты при воздействии высокой температуры и компонентов, входящих в их состав, и их роль в обеспечении огнестойкости, обуславливают необходимость проведения исследований в направлении выбора оптимальных составов композиции покрытия. Значение такого подбора заключается не только в обеспечении эффективных огнезащитных свойств покрытия в условиях эксплуатации, но должно соответство-

вать ряду дополнительных требований, к числу которых относится и вспучивание.

**Основная часть.** Учитывая вышеприведенный механизм действия, при помощи трехфакторного симплекс-центрального метода планирования эксперимента в математическом комплексе Statistica 12 проведена оптимизация органической составляющей огнезащитной органично-минеральной композиции при расходе основного связующего агента – ПВА-дисперсии в количестве 14, 16 и 18 мас.%.

В качестве факторов варьирования были выбраны: количество полифосфата аммония ПФА, %, (фактор  $X_1$ ); количество пентаэритрита, П, % (фактор  $X_2$ ); количество меламина М, %, (фактор  $X_3$ ), изменение которых приведено в табл. 1.

В качестве исходящего параметра был взят коэффициент вспучивания, значение которого фиксировали на образцах, термообработанных при температуре 500°C.

Матрица планирования эксперимента и ее математическая реализация представлены в табл. 2.

В результате моделирования получены уравнения регрессии и построены торсионные поверхности изменений исходящего параметра в зависимости от изменений факторов варьирования (рис. 1).

Таблица 1

Факторы варьирования

| Факторы, вид |              | Уровни варьирования |           | Интервал варирования |
|--------------|--------------|---------------------|-----------|----------------------|
| натуральный  | кодированный | нижний 0            | верхний 1 |                      |
| ПФА, %       | $X_1$        | 15                  | 20        | 5                    |
| П, %         | $X_2$        | 8                   | 14        | 6                    |
| М, %         | $X_3$        | 10                  | 16        | 6                    |

*Примечание.* ПФА – полифосфат аммония,  $(\text{NH}_4)_m(\text{HPO}_4)_n$ ; П – пентаэритрит, 2,2-бис(гидроксиметил)пропан-1,3-диол,  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$ ; М – меламин, (1, 3, 5-триазин-2, 4, 6-триамин),  $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ .

Таблица 2

Матрица эксперимента и ее математическая реализация

| Точки плана                 | Матрица плана в кодированных величинах |       |       | Матрица плана в натуральных величинах |      |      | Исходящий параметр |                 |                 |
|-----------------------------|----------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|------|------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                             | $X_1$                                  | $X_2$ | $X_3$ | ПФА, %                                | П, % | М, % | $K_{\text{сп}}$    | $K_{\text{сп}}$ | $K_{\text{сп}}$ |
| 1                           | 0,00                                   | 1,00  | 0,00  | 15                                    | 14   | 10   | 10,3               | 15,6            | 14,3            |
| 2                           | 0,33                                   | 0,33  | 0,33  | 16,7                                  | 10   | 12   | 18,6               | 24,1            | 20,1            |
| 3                           | 1,00                                   | 0,00  | 0,00  | 20                                    | 8    | 10   | 27,6               | 26,8            | 22,3            |
| 4                           | 0,50                                   | 0,50  | 0,00  | 17,5                                  | 11   | 10   | 18,2               | 17,6            | 16,8            |
| 5                           | 0,00                                   | 0,00  | 1,00  | 15                                    | 8    | 16   | 14,6               | 16,3            | 15,4            |
| 6                           | 0,50                                   | 0,00  | 0,50  | 17,5                                  | 8    | 13   | 21,8               | 23,2            | 22,7            |
| 7                           | 0,00                                   | 0,50  | 0,50  | 15                                    | 11   | 13   | 24,8               | 27,3            | 25,1            |
| Содержание ПВА-дисперсии, % |                                        |       |       |                                       |      |      | 14                 | 16              | 18              |

Уравнения регрессии:

– при условии расхода ПВА-дисперсии в количестве 14%:

$$K_{\text{сп}} = 22,3 \cdot 1 + 12,3 \cdot 2 + 18,4 \cdot 3 - 2 \cdot 1 \cdot 2 - 4,6 \cdot 1 \cdot 3 + 25 \cdot 2 \cdot 3 + 10,5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 + 0;$$

– при расходе ПВА-дисперсии в количестве 16%:

$$K_{\text{сп}} = 26,8 \cdot 1 + 15,6 \cdot 2 + 16,3 \cdot 3 - 14,4 \cdot 1 \cdot 2 + 6,6 \cdot 1 \cdot 3 + 45,4 \cdot 2 \cdot 3 + 9,6 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 + 0;$$

– при расходе ПВА-дисперсии в количестве 18%:

$$K_{\text{сп}} = 22,3 \cdot 1 + 14,3 \cdot 2 + 15,4 \cdot 3 - 6 \cdot 1 \cdot 2 + 15,4 \cdot 1 \cdot 3 + 418 \cdot 2 \cdot 3 - 76,5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 + 0.$$

Анализ уравнений регрессии свидетельствует о том, что варьированные факторы являются значимыми и взаимосвязанными. Наиболее весомо на коэффициент вспучивания при расходе ПВА-дисперсии в количестве 14% влияет совместное действие факторов  $X_2X_3$  и  $X_1X_2X_3$ ; при расходе ПВА-дисперсии в количестве 16% – совместное действие факторов  $X_1X_3$ ,  $X_2X_3$  и  $X_1X_2X_3$ ; при расходе ПВА-дисперсии в количестве 18% – совместное действие факторов  $X_1X_3$  и  $X_2X_3$ .

Характер изменения изолиний коэффициента вспучивания на торияльных поверхностях органической составляющей органоминеральной композиции идентичен, разница только в числовых показателях, значения которых напрямую зависят от вариации концентраций составляющих органоминеральной композиции (рис. 1).

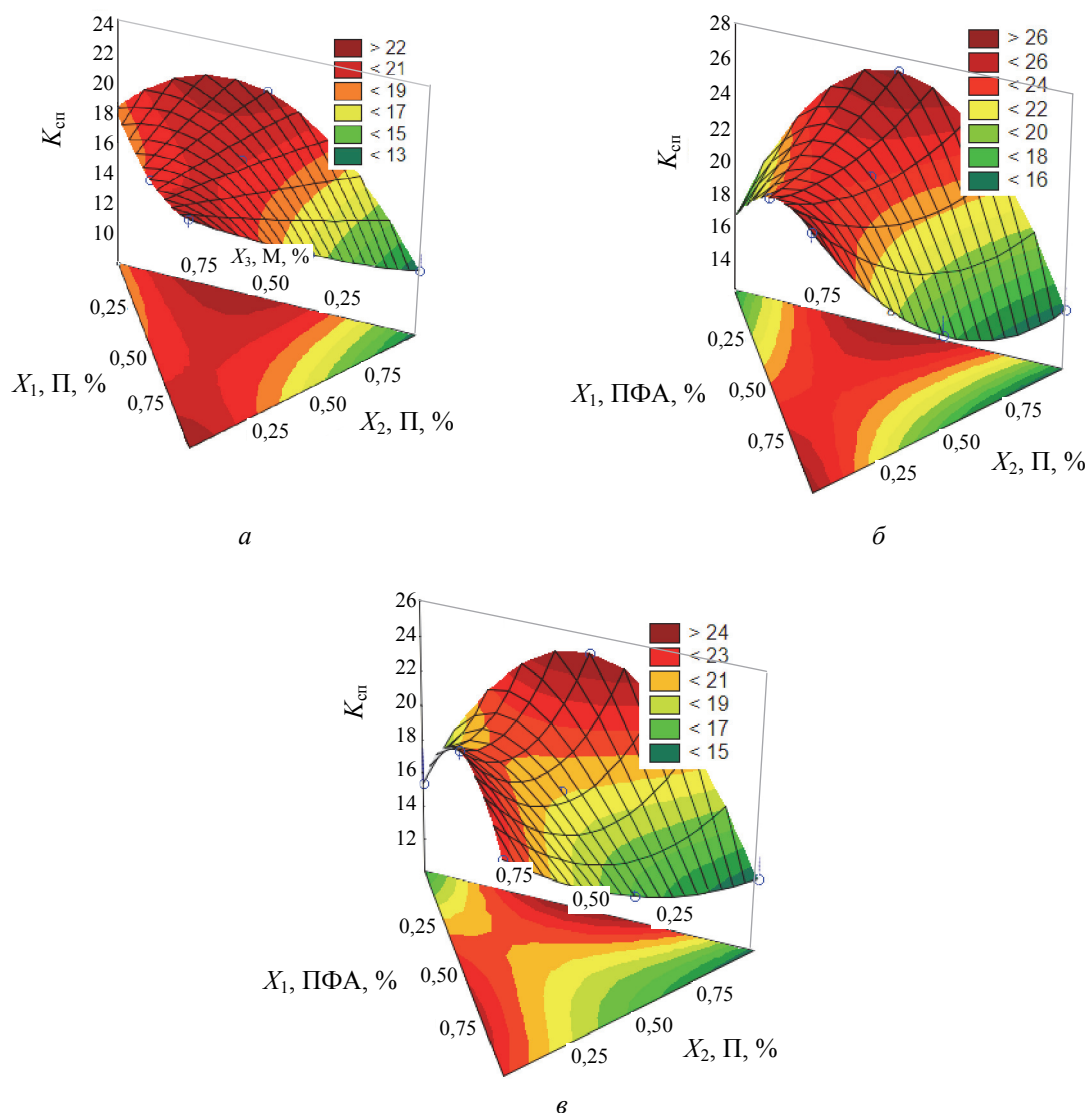


Рис. 1. Торияльные поверхности изменения коэффициента вспучивания  $K_{\text{сп}}$  органической составляющей огнезащитной органоминеральной композиции после термообработки при температуре 500°C при расходе ПВА-дисперсии в количестве, %:  
а – 14; б – 16; в – 18

Так, при расходе ПВА-дисперсии в количестве 14% наблюдается увеличение коэффициента вспучивания от 13 до 22 раз при одновременном увеличении в составе композиции полифосфата аммония от 17,5 до 20% и меламина от 11,5 до 15,8% (факторы  $X_1$  и  $X_3$ ) и уменьшении количества пентаэритрита от 9,5 до 8% (фактор  $X_2$ ) (рис. 1, а).

При расходе ПВА-дисперсии в количестве 16% (рис. 1, б) фиксируется самый высокий показатель коэффициента вспучивания, который характерен для композиции состава: полифосфат аммония в количестве 20%; пентаэритрит в количестве 8% и меламин в количестве 10%. Характер изменения изолиний на торцовой поверхности аналогичен предыдущему. Так, увеличение коэффициента вспучивания от 15,6 до 26,8 раз происходит при одновременном увеличении в составе полифосфата аммония от 17,5 до 20% (фактор  $X_1$ ) и меламина от 10,5 до 15,5% (фактор  $X_2$ ) при уменьшении пентаэритрита от 11,5 до 8% (фактор  $X_3$ ).

При расходе ПВА-дисперсии в количестве 18% (рис. 1, в) значение коэффициента вспучивания значительно меньше, чем в предыдущем случае – 25,1 и характерно для композиции состава: полифосфат аммония в количестве 15%; пентаэритрит в количестве 11% и меламин в количестве 13%. Характер изменения изолиний на торцовой поверхности аналогичен предыдущему. Так, увеличение коэффициента вспучивания от 14,3 до 25,1 происходит при одновременном увеличении в составе полифосфата аммония от 16,5 до 20% (фактор  $X_1$ ) и меламина от 10,5 до 15,5% (фактор  $X_2$ ) при уменьшении пентаэритрита от 11,5 до 8% (фактор  $X_3$ ).

Учитывая полученные данные, для дальнейших исследований выбрана огнезащитная композиция со следующим составом: ПВА-дисперсия 16%, полифосфат аммония 18%, пентаэритрит 10%, меламин 13%, остальное – вода. Данный

состав огнезащитной композиции характеризуется самым большим значением коэффициента вспучивания – 26,8. Для увеличения значений данного показателя целесообразно использовать гидратосодержащие соединения.

С учетом вышеуказанного, оптимизацию состава органоминеральной композиции выполняли с помощью одно- и трехфакторного симплекс-центрального метода планирования эксперимента. В качестве исходящего параметра рассматривали величину коэффициента вспучивания в зависимости от концентрации ввода гидратов алюминия и магния, а также диоксида титана и талька (рис. 2).

Как видно из данных рис. 2, величина коэффициента вспучивания возрастает при увеличении концентрации наполнителей  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  и  $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})$  от 0 до 10%. Экстремальные значения коэффициента вспучивания зафиксированы при концентрации наполнителей в 10%, превышение этого значения приводит к падению коэффициента вспучивания и увеличению вязкости композиции. По воздействию на показатель коэффициента вспучивания добавки-наполнители ранжируем в следующей последовательности:  $\text{Al}(\text{OH})_3 > \text{Mg}(\text{OH})_2 > \text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})$ .

Ввод в состав органоминеральной композиции диоксида титана в диапазоне концентраций от 3 до 5% увеличивает показатель вспучивания, при других – приводит к его уменьшению. Для установления оптимального количества введения диоксида титана и определения его синергетичности с другими добавками была проведена оптимизация состава огнезащитной композиции. В качестве факторов варьирования выбраны: количество диоксида титана  $\text{TiO}_2$  % (фактор  $X_1$ ); количество гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , % (фактор  $X_2$ ); количество талька  $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})$ , % (фактор  $X_3$ ), изменение которых приведено в табл. 3.

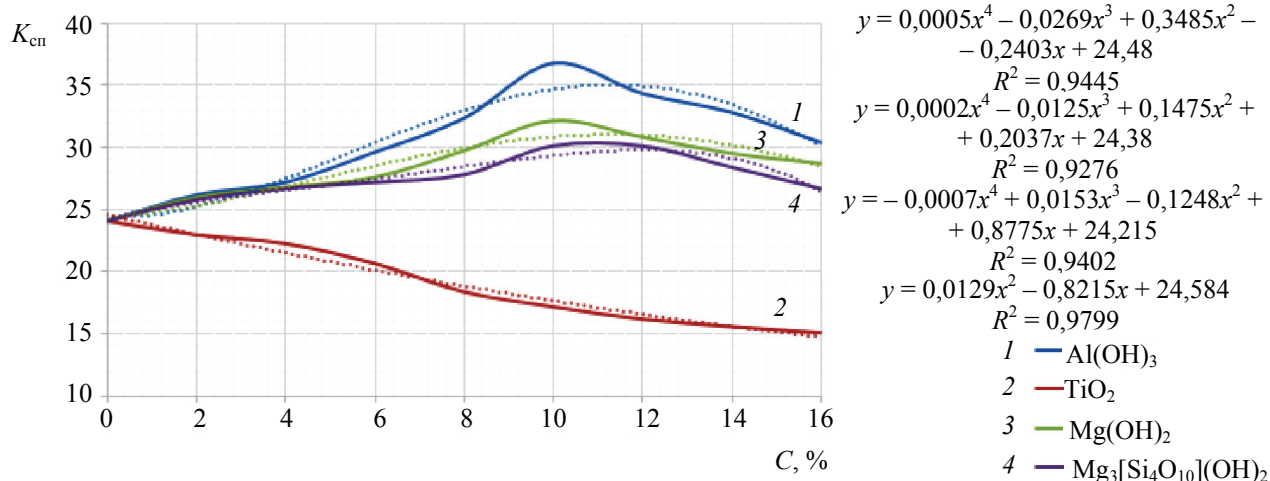


Рис 2. Зависимость коэффициента вспучивания органоминеральной композиции от концентрации наполнителей

Таблица 3

## Факторы варьирования

| Факторы, вид                                                            |              | Уровни варьирования |           | Интервал варьирования |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|-----------|-----------------------|
| натуральный                                                             | кодированный | нижний 0            | верхний 1 |                       |
| TiO <sub>2</sub> , %                                                    | $X_1$        | 0                   | 10        | 5                     |
| Al(OH) <sub>3</sub> , %                                                 | $X_2$        | 0                   | 10        | 5                     |
| Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub> , % | $X_3$        | 0                   | 10        | 5                     |

Таблица 4

## Матрица эксперимента и ее математическая реализация

| Точки плана | Матрица плана в кодированных величинах |       |       | Матрица плана в натуральных величинах |                         |                                                                         | Исходящий параметр |
|-------------|----------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|             | $X_1$                                  | $X_2$ | $X_3$ | TiO <sub>2</sub> , %                  | Al(OH) <sub>3</sub> , % | Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub> , % | $K_{сп}$           |
| 1           | 0,00                                   | 1,00  | 0,00  | 0                                     | 10                      | 0                                                                       | 36,7               |
| 2           | 0,33                                   | 0,33  | 0,33  | 0,33                                  | 0,33                    | 0,33                                                                    | 44,6               |
| 3           | 1,00                                   | 0,00  | 0,00  | 10                                    | 0                       | 0                                                                       | 17,2               |
| 4           | 0,50                                   | 0,50  | 0,00  | 5                                     | 5                       | 0                                                                       | 47,0               |
| 5           | 0,00                                   | 0,00  | 1,00  | 0                                     | 0                       | 10                                                                      | 30,1               |
| 6           | 0,50                                   | 0,00  | 0,50  | 5                                     | 0                       | 5                                                                       | 42,0               |
| 7           | 0,00                                   | 0,50  | 0,50  | 0                                     | 5                       | 5                                                                       | 43,4               |

В качестве исходного параметра был выбран коэффициент вспучивания, значение которого фиксировали на образцах, термообработанных при температуре 500°C. Матрица планирования эксперимента и ее математическая реализация приведены в табл. 4.

В результате моделирования получены уравнения регрессии и построены торияльные поверхности изменения исходящего параметра в зависимости от изменений факторов варьирования (рис. 3).

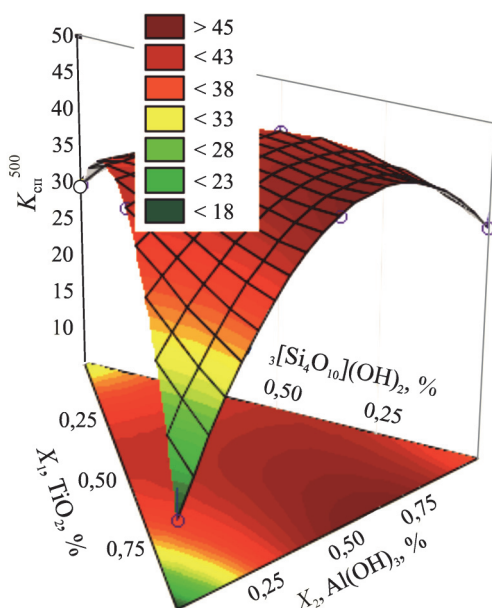


Рис. 3. Торияльная поверхность изменения коэффициента вспучивания  $K_{сп}$  органоминеральной композиции после термообработки при температуре 500°C

Уравнение регрессии:

$$K_{сп} = 17,2 \cdot 1 + 36,7 \cdot 2 + 30,1 \cdot 3 + 80,2 \cdot 1 \cdot 2 + 73,4 \cdot 1 \cdot 3 + 40 \cdot 2 \cdot 3 - 132,6 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 + 0.$$

Анализ уравнения регрессии свидетельствует о том, что варьлируемые факторы значимы и взаимосвязаны, наиболее весомо влияет на коэффициент вспучивания совместное действие факторов  $X_1X_2$ ,  $X_2X_3$  и  $X_1X_2X_3$ .

Из данных моделирования (табл. 4 и рис. 3) следует, что повышение величины коэффициента вспучивания от 28 до 47 раз происходит при одновременном увеличении концентраций наполнителей: по оси  $X_1$  от 1,75 до 8% (диоксид титана); по оси  $X_2$  от 2 до 10% (гидроксид алюминия); по оси  $X_3$  от 0 до 9% (тальк). На торияльной поверхности зафиксирована область максимальных значений коэффициента вспучивания:  $K_{сп}^1 = 447$ , характерный для композиции, которая содержит по 5% TiO<sub>2</sub> и Al(OH)<sub>3</sub>;  $K_{сп}^2 = 42$ , характерный для композиции, которая содержит по 5% TiO<sub>2</sub> и Mg<sub>3</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub> и  $K_{сп}^3 = 44,6$ , характерный для композиции, которая содержит по 3,33% TiO<sub>2</sub>, Al(OH)<sub>3</sub> и Mg<sub>3</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub>.

На основе проведенной оптимизации по критерию максимального коэффициента вспучивания выбраны составы органоминеральных огнезащитных композиций для исследования реологических характеристик, огневых характеристик и процессов структурообразования (табл. 5).

Таблица 5

## Составы органоминеральных огнезащитных композиций

| № п/п | Состав                                                                                  | Количество и тип добавки, %                                                                  | Величина коэффициента вспучивания |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1     | Базовый:<br>ПВА-дисперсия-16%<br>ПФА – 18 %<br>П – 10 %<br>М – 13 %<br>Вода – остальное | –                                                                                            | 26,8                              |
| 2     | Базовый +                                                                               | 10% Al(OH) <sub>3</sub>                                                                      | 36,7                              |
| 3     | Базовый +                                                                               | 10% TiO <sub>2</sub>                                                                         | 17,2                              |
| 4     | Базовый +                                                                               | 10% Mg(OH) <sub>2</sub>                                                                      | 32,1                              |
| 5     | Базовый +                                                                               | 10% Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub>                      | 30,1                              |
| 6     | Базовый +                                                                               | 5% TiO <sub>2</sub> + 5% Al(OH) <sub>3</sub>                                                 | 47,0                              |
| 7     | Базовый +                                                                               | 5% TiO <sub>2</sub> + 5% Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub> | 42,0                              |

**Выводы.** На основании проведенных исследований оптимизирован состав органической составляющей органоминеральной композиции.

Установлено, что при добавлении к основанию (16% ПВА-дисперсии) полифосфата аммония в количестве 18%, пентаэритрита в количестве 10% и меламин в количестве 13% органоминеральная композиция характеризуется наибольшим коэффициентом вспучивания ( $K_{сп} > 20$ ), вязкостью в 90 с по сравнению с композициями, содержащими основу в количестве 14 и 18%.

Определено, что введение минеральных наполнителей в состав органоминеральной композиции в количестве 10% способствует повышению коэффициента вспучивания от 30 до 36,7, что в 1,50–1,84 раза больше значения коэффициента вспучивания органоминеральной композиции оптимального состава без наполнителей. Введение в состав органоминеральной композиции до 10% TiO<sub>2</sub> способствует уменьшению коэффициента с ранее приведенными добавками и в 1,16 раз – по сравнению с композицией без наполнителей, но значительно повышает термическую устойчивость образованного пенококса.

## Литература

1. Собурь С. В. Огнезащита материалов и конструкций: справочник. М.: Спецтехника, 2003. 240 с.
2. Жартовский В. М., Цапко Ю. В. Профілактика горіння целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика. К.: ДП «Друкарня МВС України», 2006. 248 с.
3. Балакин В. М., Селезнев А. М., Белов В. В. Сравнительная оценка огнезащитных свойств вспенивающихся покрытий на основе фосфата аммония и водорастворимых аммониевых солей аминотетрафосфоновых кислот // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 11. С. 34–41.
4. Стахов В. Л., Геращенко А. М. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // Строительные материалы. 2002, № 6. С. 2–6.
5. Ненахов С. А., Пимонова В. П., Пименов А. Л. Проблемы огнезащитной отрасли // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 12. № 12. С. 19–26.
6. Цапко Ю. В. Эффективные модификаторы для строительных конструкций из древесины // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 6 (41). С. 113–117.
7. Research of fire-retardant properties of timber constructions, protected geocement-based coating, after their operation / A. Kravchenko, [et al.] // Advanced Materials Research. 2015. Vol. 1122. P. 7–10.
8. Беликов А. С. Применение жидкостекольных композиций в качестве огнетушащих покрытий // Вопросы химии и технологии. 2000. № 1. С. 21–28.
9. Еремина Т. Ю., Гравит М. В., Дмитриева Т. Ю. Особенности и принципы построения рецептур огнезащитных вспучивающих композиций на основе эпоксидных смол // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 7. С. 52–56.
10. Гивлюд М. М., Башинський О. І., Вовк С. Я. Температуростійкі силікатні захисні покриття для металів та сплавів на основі наповненого поліметилфенілсилоксану // Збірник наукових праць Львівського державного університету БЖД. 2011. № 18. С. 40–45.

11. Артеменко В. В. Експериментальні дослідження вогнезахисних покриттів металевих конструкцій на основі наповнених поліалюмосилоксанів // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД Пожежна безпека. 2014. № 25. С. 6–11.
12. Тимофеева С. В., Малясова А. С., Хелевина О. Г. Материалы пониженной пожарной опасности с покрытием на основе жидких силоксановых каучуков, отвержденных методом полиприсоединения // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 9. С. 22–25.
13. Анцупов Е. В., Родивилов С. М. Антипирены для пористых материалов // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 5. С. 25–32.
14. Гравит М. В. Исследование влияния различных факторов на коэффициент вспучивания органорастворимых огнезащитных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. № 6. С. 12–16.
15. Ненахов С. А., Пименова В. П. Динамика вспенивания огнезащитных покрытий на основе органонеорганических составов // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 8. С. 17–24.

### References

1. Sobur S. V. *Ognezashchita materialov i konstruksiy* [Fire protection of materials and structures]. Moscow, Spetstekhnika Publ., 2003. 240 p.
2. Zhartovski V. M., Tsapko Yu. V. *Profilaktika gorinnaya tselyulozovmisnikh materialiv. Teoriya ta praktika* [Prevention of cellulosic materials combustion. Theory and practice]. Kiev, DP "Drukarnya MVS Ukrainy" Publ., 2006. 248 p.
3. Balakin V. M., Seleznev A. M., Belov V. V. Comparative evaluation of the flame retardant properties of foaming patches based on ammonium phosphate and water-soluble ammonium salts of aminomethylenephosphonic acids. *Pozharovzryvbezopasnost'* [Fire and explosion safety], 2014, vol. 23, no. 11, pp. 34–41 (In Russian).
4. Stakhov V. L., Gerashchenko A. M. Fire protection of building constructions: modern ways and methods of optimal engineering. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials], 2002, no. 6, pp. 2–6 (In Russian).
5. Nenakhov S. A., Pimonova V. P., Pimenov A. L. Problems of the fire-protection industry. *Pozharovzryvbezopasnost'* [Fire and explosion safety], 2010, vol. 12, no. 12, pp. 19–26 (In Russian).
6. Tsapko Y. V. Effective modifiers for wooden building structures. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Herald of civil engineers], 2013, no. 6 (41), pp. 113–117 (In Russian).
7. Kravchenko A., Guzii S., Tsapko Y., Petranek V. Research of fire-retardant properties of timber constructions, protected geocement-based coating, after their operation. *Advanced Materials Research*, 2015, vol. 1122, pp. 7–10.
8. Belikov A. S. Application of liquid-glass compositions as fire-extinguishing coatings. *Voprosy khimii i tekhnologii* [Problems of chemistry and technology], 2000, no. 1, pp. 21–28 (In Russian).
9. Yeremin T. Y., Gravit M. V., Dmitrieva T. Y. Features and principles of recipes construction of fire retardant swelling compositions based on epoxy resins. *Pozharovzryvbezopasnost'* [Fire and explosion safety], 2012, vol. 21, no. 7, pp. 52–56 (In Russian).
10. Gyvlyud M. M., Bashinsky O. I., Vovkh S. Ya. Temperature resistant silicate protective coatings for metals and alloys based on filled polymethylphenylsiloxane. *Zbirnik naukovikh prats L'vivskogo derzhavnogo universitetu DZhd* [Collection of scientific works of Lviv State University of Life Safety], 2011, no. 18, pp. 40–45.
11. Artemenko V. V. Experimental studies of fireproof coatings of metal structures on the basis of filled polyaluminosiloxanes. *Zbirnik naukovikh prats LDU BZhd Pozhezhna bezpeka* [Collection of scientific works of Lviv State University of Life Safety, Fire safety], 2014, no. 25, pp. 6–11.
12. Timofeyeva S. V., Malyasova A. S., Helevina O. G. Materials of low fire hazard with a coating based on liquid siloxane rubber, cured by polyaddition. *Pozharovzryvbezopasnost'* [Fire and explosion safety], 2011, vol. 20, no. 9, pp. 22–25 (In Russian).
13. Antsupov E. V., Rodivilov S. M. Fire retardants for porous materials. *Pozharovzryvbezopasnost'* [Fire and explosion safety], 2011, vol. 20, no. 5, pp. 25–32 (In Russian).
14. Gravit M. V. A study of the effect of various factors on the swelling coefficient of organosoluble fire retardant coatings. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye* [Paintwork materials and their application], 2013, no. 6, pp. 12–16 (In Russian).
15. Nenakhov S. A., Pimenova V. P. Dynamics of foaming of fire-retardant coatings on the basis of organo-inorganic compositions. *Pozharovzryvbezopasnost'* [Fire and explosion safety], 2011, vol. 20, no. 8, pp. 17–24 (In Russian).

### Информация об авторах

**Пинчевская Елена Алексеевна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологий и дизайна изделий из древесины. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (03041, г. Киев, пер. Сельскохозяйственный, 17, Украина). E-mail: olenapinchevska@nubip.edu.ua

**Цапко Алексей Юрьевич** – аспирант кафедры технологий и дизайна изделий из древесины. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (03041, г. Киев, пер. Сельскохозяйственный, 17, Украина). E-mail: aleks\_workingmail@ukr.net

### Information about the authors

**Pinchevskaya Elena Alekseevna** – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Technology and Design of Wood Products. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (17, lane Sel'skokhozyaystvennyy, 03041, Kiev, Ukraina). E-mail: olenapinchevska@nubip.edu.ua

**Tsapko Alexey Yur'yevich** – PhD student, the Department of Technology and Design of Wood Products. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (17, lane Sel'skokhozyaystvennyy, 03041, Kiev, Ukraina). E-mail: aleks\_workingmail@ukr.net

*Поступила 11.10.2018*

УДК678.046.52:674.048

**А. Б. Невзорова, В. В. Макеев, В. И. Врублевская**  
Белорусский государственный университет транспорта

### **КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОЛОСТЕЙ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ КОНФОКАЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ**

Целью данной работы является изучение возможности использования конфокальной микроскопии для контроля заполнения полостей капиллярно-сосудистой структуры древесного вкладыша масляным модификатором по глубине.

Испытания проводили с тремя партиями образцов из древесины березы. Образцы пропитывали: из первой партии – методом горячей ванны при температуре  $130 \pm 5^\circ\text{C}$ ; из второй – методом термоконтрастных ванн при температурах  $130 \pm 5^\circ\text{C}$  и  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Третья партия – контрольные образцы для определения влажности древесины перед пропиткой. Оценку равномерности и глубину заполнения полостей капиллярно-сосудистой структуры древесины изучали с помощью оптической и конфокальной (лазерной) микроскопии на микроскопе Olympus LEXT ols 3000 по поверхности и глубине  $1/3$  и  $1/2$  толщины образцов по известной методике. По величине среднего отклонения профиля, полученного компьютерным анализом сечений исследуемых поверхностей, установлены параметры неравномерности заполнения модификатором древесного образца по толщине волокна в зависимости от способа пропитки. Для расчета степени заполнения древесины модификатором предложена математическая зависимость, учитывающая кинетику изменения влажности древесины при высокотемпературной пропитке.

Предложенный метод контроля заполнения структуры древесины модификатором на основе применения конфокальной микроскопии может быть использован для определения фактической степени заполнения капиллярно-сосудистой структуры древесных вкладышей и других деталей древесины независимо от способа пропитки.

**Ключевые слова:** древесина, пропитка, модификатор, степень заполнения, конфокальная микроскопия.

**A. B. Nevzorova, V. V. Makeev, V. I. Vrublevskaya**  
Belarusian State University of Transport

### **METHOD CONFOCAL MICROSCOPY TO CONTROL THE DEGREE OF FILLING OF THE CAVITIES OF THE WOOD**

This paper aims to show how confocal microscopy can be useful for control the filling of the cavities of the capillary-vascular structure of the wood liner with an oil modifier in depth.

The tests were carried out with three batches of birch wood samples. Samples were soaked: from the first batch – by the method of a hot bath at a temperature of  $130 \pm 5^\circ\text{C}$  from the second – by the method of thermo contrast baths at operation  $130 \pm 5^\circ\text{C}$  and  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ; in the third batch – control samples for determining the moisture content of the wood prior to drilling. The estimation of uniformity and depth of filling of cavities of capillary-vascular structure of wood was studied with the help of optical and confocal (laser) microscopy on Olympus LEXT ols 3000 microscope on the surface and depth of  $1/3$  and  $1/2$  thickness of samples according to the known technique. According to the value of the average deviation of the profile, the level of computer analysis, the set parameters of non-uniformity of filling wood modifier through the thickness of the sample depending on the method of impregnation. To calculate the degree of filling of wood with a modifier, a mathematic dependence was proposed, which takes into account the kinetics of changes in wood moisture during high-temperature impregnation.

The proposed method of controlling the filling of structures based on the use of confocal microscopy can be used to determine the actual degree of filling of the capillary-vascular structure of wood raw materials and materials.

**Key words:** wood, impregnation, modifier, degree of filling, confocal microscopy.

**Введение.** Важнейшими параметрами, определяющими качество пропитки древесины, осуществляемой различными способами [1], являются глубина пропитки и полнота заполнения полостей капиллярно-сосудистой системы

образцов модификатором (пропитывающим веществом) [2–4].

Одним из документов, определяющих методы контроля качества пропитки, является ГОСТ 20022.6-93 [5]. Согласно стандарту, глу-

бина пропитки оценивается на основе линейных измерений глубины модифицированного слоя по окраске модификатором цилиндрических древесных образцов, полученных полым буром. Недостатком такого метода является невозможность оценки действительного наполнения капиллярно-сосудистой системы древесины модификатором, так как он может лишь смочить (окрасить) древесные волокна, не заполнив внутренний объем полостей образца.

Для вычисления общего поглощения модификатора на  $1 \text{ м}^3$  древесины вне зависимости от типа пропитки, стандарт определяет применение следующей формулы:

$$q = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса изделий до пропитки, кг;

$m_1$  – масса изделий после пропитки, кг;

$V$  – объем пропитываемого образца.

В работах [4, 6, 7] предлагается определение степени пропитки как отношение массы модификатора  $m_m$ , введенного в древесину, к массе заготовки до пропитки:

$$i = \frac{m_m}{m}. \quad (2)$$

Альтернативное определение степени наполнения предложено в [8]. Оно заключается в оценке отношения объема модификатора  $V_m$ , введенного в древесину, к объему ее сосудов и капилляров  $V_k$  (внутреннему объему):

$$i = \frac{V_m}{V_k}. \quad (3)$$

В этом случае степень наполнения выражает долю занятого модификатором внутреннего объема древесины и не зависит от его плотности. Предложенные для расчета степени наполнения формулы, обладая очевидными достоинствами, не учитывают уменьшение объема и массы древесных вкладывшей за счет снижения содержания в них гигроскопической влаги при высокотемпературной пропитке, а в случае применения водорастворимых модификаторов не учитывается изменение объема  $V$  древесной заготовки за счет изменения ее влажности.

В настоящее время стали применяться более точные методы при изучении модифицирования древесины [9, 10].

Цель данной работы – изучить возможность использования конфокальной микроскопии для контроля степени заполнения по глубине полостей капиллярно-сосудистой структуры древесного вкладыша масляным модификатором после высокотемпературной пропитки. Для этого необходимо разработать методику кон-

троля заполнения объема капиллярно-сосудистой системы древесины масляным модификатором (М) на основании применения конфокальной микроскопии; предложить аналитическое решение задачи по расчету степени наполнения древесины модификатором, учитывающее изменение влажности заготовки при высокотемпературной пропитке.

**Объекты и методы исследования.** Для проведения испытаний подготовлены три партии образцов нормализованной влажностью 12%. В первой партии находились образцы, пропитанные по способу горячей ванны при температуре  $t = 130 \pm 5^\circ\text{C}$ . Во второй партии – образцы, пропитанные в условиях термоконтрастного воздействия при температуре  $t = 130 \pm 5^\circ\text{C}$  в горячей ванне и  $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$  в ванне охлаждения. В третьей партии находились контрольные образцы древесины, по которым определялась их влажность перед пропиткой.

На образцах из первой и второй партий после проведения пропитки были выполнены срезы на разной глубине вдоль волокон (рис. 1). Срезы для микроскопических исследований выполнялись по методике, описанной в [9].

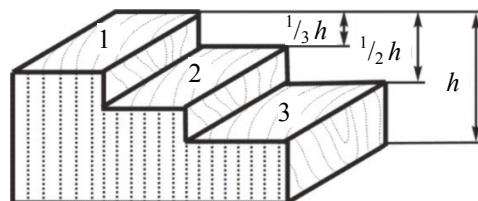


Рис. 1. Схема расположения поверхностей по глубине образца для оценки степени пропитки методом конфокальной микроскопии

Исследование заполнения и изменения степени наполнения  $i$  капиллярно-сосудистой системы древесины М проводилось весовым методом на лабораторных электронных весах ВСТ-600/10. Относительная влажность древесины, согласно ГОСТ 16483.7-71, измерялась весовым методом с точностью до 0,1% при сушке контрольных образцов из третьей партии в термощкафу при температуре  $t = 130 \pm 5^\circ\text{C}$ . Температура М в пропиточных ваннах контролировалась ртутным термометром ТЛ-2 (ТУ 25-2021.003-88). Глубину пропитки определяли не позднее чем через 2 ч после пропитки образца.

Микроструктура древесины исследовалась с применением оптической и конфокальной (лазерной) микроскопии на микроскопе Olympus LEXTols 3000.

**Основная часть.** 1. Методика контроля заполнения объема полостей капиллярно-сосудистой системы древесины модификато-

ром с применением конфокальной микроскопии. В результате сканирования образца лазерным лучом создается объемная поверхность, анализ которой позволяет увидеть пустоты в капиллярно-сосудистой системе, не заполненные модификатором. На рис. 2 и 3 представлены результаты анализа поперечных сечений по глубине полученных поверхностей.

Равномерность заполнения полостей капиллярно-сосудистой системы древесного образца модификатором предложено оценивать по величине среднего отклонения профиля, полученного при компьютерном анализе виртуальных поперечных «сечений» полученной поверхности.

Сканирование поверхности вдоль волокон позволило установить (обнаружить) эффект уменьшения (неравномерность отклонения) усредненного профиля вдоль волокон по толщине образца.

Наблюдаемый градиент уменьшения шероховатости профиля по длине сканирования объясняется более полным насыщением (пропиткой) образцов, пропитанных в условиях термоконтрастного воздействия по сравнению с образцами, пропитанными по способу горячей ванны.

Анализ микроструктур поверхностей (рис. 2 и 3) показал, что капиллярно-сосудистая система неравномерно заполнена модификатором по толщине образца вдоль волокон: внешний слой (наружный) менее насыщен М по сравнению со слоями, расположенными на глубине  $1/3h$  и  $1/2h$  толщины. Для древесины, пропитанной по способу горячих ванн, отклонение профиля микроструктуры на поверхности, на глубине  $1/3h$  и  $1/2h$  толщины составляет соответственно  $140 \pm 5$  мкм,  $90 \pm 5$  мкм,  $40 \pm 5$  мкм, а пропитанной в условиях термоконтрастного воздействия –  $60 \pm 5$  мкм,  $30 \pm 5$  мкм,  $30 \pm 5$  мкм. Окраска образцов на срезе вдоль волокон была однородной независимо от способа пропитки.

Таким образом, выполняя необходимое количество срезов по глубине образца вдоль волокон и анализируя их профиль методом конфокальной микроскопии, появляется возможность изучить степень заполнения древесного образца в масштабе нескольких микрометров и определить действительное заполнение капиллярно-сосудистой системы модификатором.

2. *Формула для расчета степени наполнения древесины модификатором, учитывающая изменение влажности заготовки при высокотемпературной пропитке.* Оптимальной влажностью для пропитки древесных материалов является влажность в пределах 12–20%. Колебания влажности окружающей среды влияют на содержание влаги в древесине, при этом может

незначительно изменяться ее объем в зависимости от процессов десорбции (усушки) или абсорбции (разбухания). Процесс пропитки, описанный выше, проходил при атмосферном давлении, и одновременно с процессом модифицирования имело место удаление из древесных образцов гигроскопической влаги. Поэтому процесс пропитки проводился до тех пор, пока масса образцов после пропитки модификатором не становилась постоянной. Это свидетельствовало о полном удалении влаги из древесины и завершении процесса пропитки.

При расчете степени наполнения древесины модификатором известными являются следующие величины:  $m_{ow}$  – масса образца влажностью  $W$  до пропитки;  $m_{ow}$  – масса пропитанного образца;  $\rho_m$  – плотность модификатора; плотность древесинного вещества  $\rho_{д.в} = 1,54$  г/см<sup>3</sup>;  $W$  – влажность древесного образца; его геометрические размеры.

Степень наполнения рассчитывается по формуле

$$i = \frac{V_m}{V_{ксс}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $V_m$  – объем введенного в древесину модификатора;  $V_{ксс}$  – объем полостей капиллярно-сосудистой системы образца.

Объем введенного в древесину модификатора определяется из отношения

$$V_m = \frac{m_m}{\rho_m} = \frac{m_{o.m} - (m_{ow} - m_{H_2O})}{\rho_m}, \quad (5)$$

где  $m_m$  – масса введенного в древесину модификатора;  $m_{H_2O}$  – масса гигроскопической влаги, удаленной из древесины.

Массу гигроскопической влаги можно определить высушиванием контрольного образца в термощкафу до стабилизации его массы. Разность массы образца до и после сушки определяет массу удаленной влаги. Химически связанная влага не удаляется из древесины конвекционной сушкой.

Объем полостей капиллярно-сосудистой системы древесного образца определяется разностью объема образца  $V_o$  и объема древесинного вещества  $V_{д.в}$  при влажности  $W$ :

$$V_{ксс} = V_o - V_{д.в} = V_o - \frac{m_{ow}}{\rho_{д.в}} = \frac{V_o \rho_{д.в} - m_{ow}}{\rho_{д.в}}. \quad (6)$$

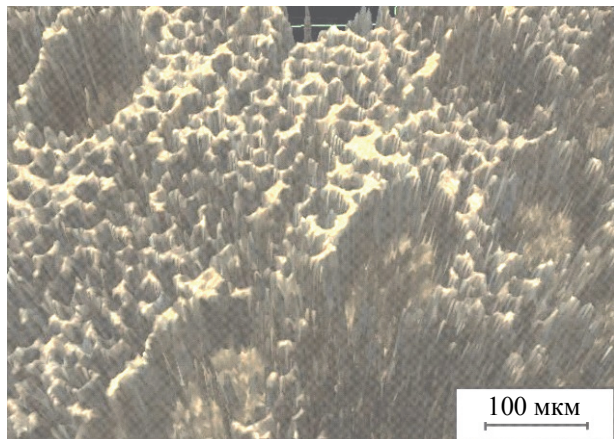
Подставляя выражения (2) и (3) в (1), получаем формулу для расчета степени наполнения, которая учитывает изменение влажности древесного образца при высокотемпературной пропитке:

$$i = \frac{(m_{o.m} - (m_{ow} - m_{H_2O}))\rho_{д.в}}{\rho_m(V_o\rho_{д.в} - m_{ow})} \cdot 100\%. \quad (7)$$

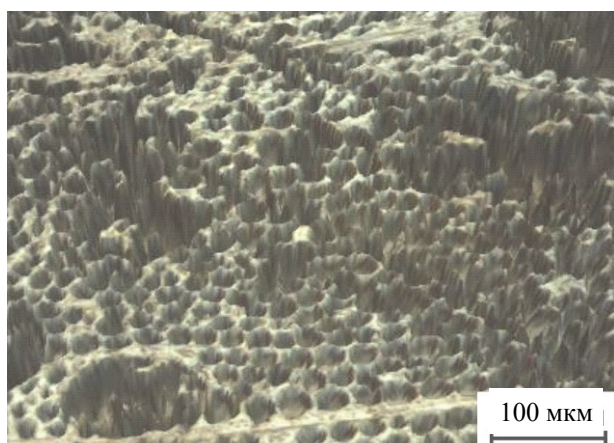
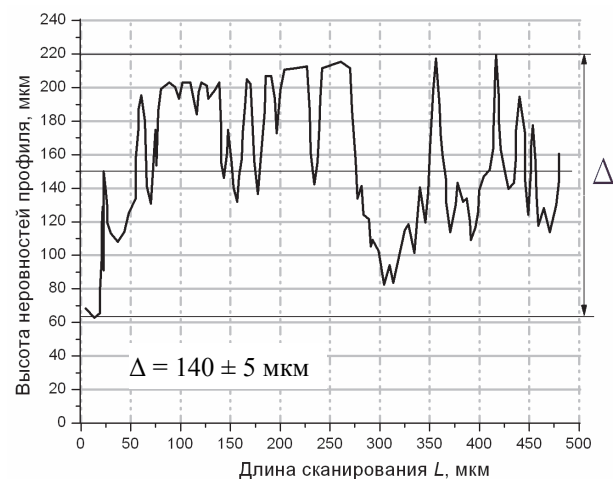
При пропитке без нагрева масса древесного образца не будет уменьшаться за счет удаления

гигроскопической влаги, а выражение (7) примет вид

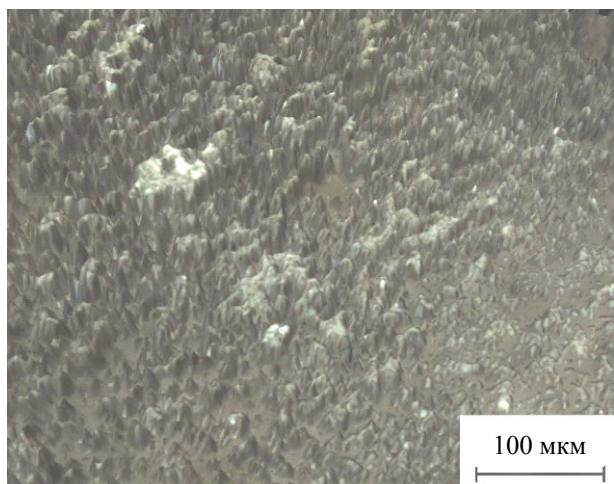
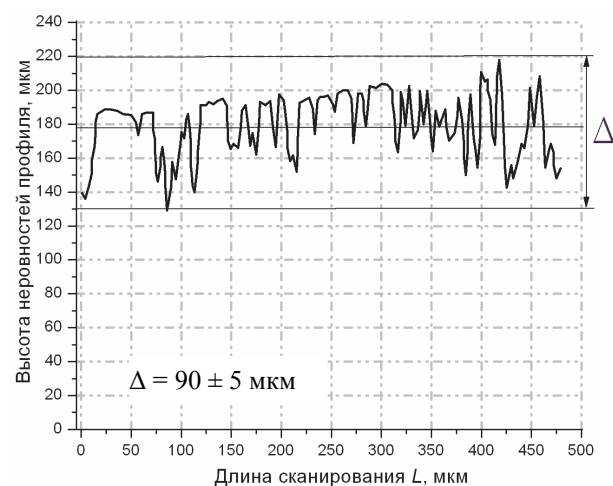
$$i = \frac{(m_{o.m} - m_w)\rho_{д.в}}{\rho_m(V_o\rho_{д.в} - m_{ow})} \cdot 100\%. \quad (8)$$



а



б



в

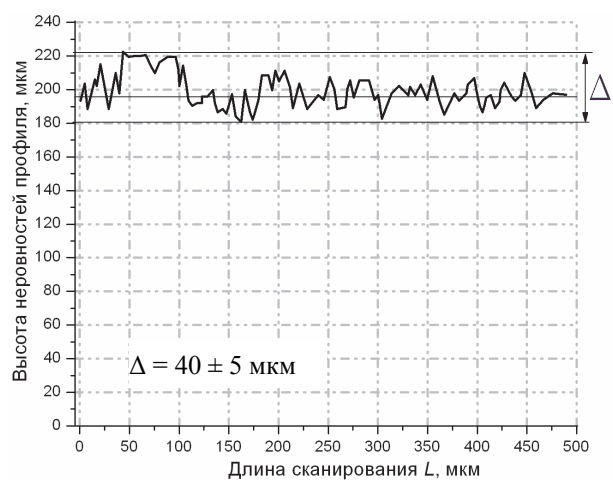
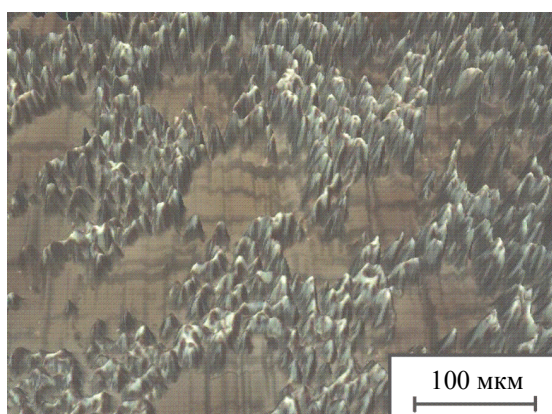
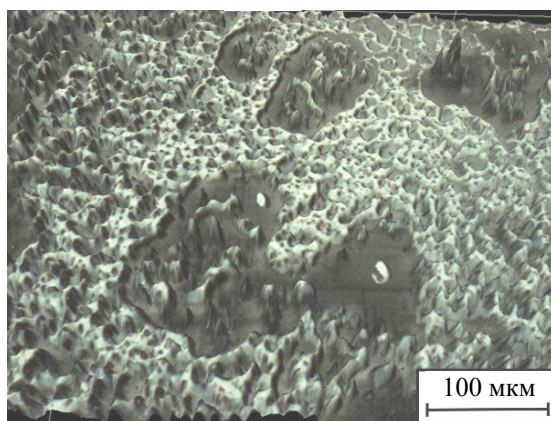
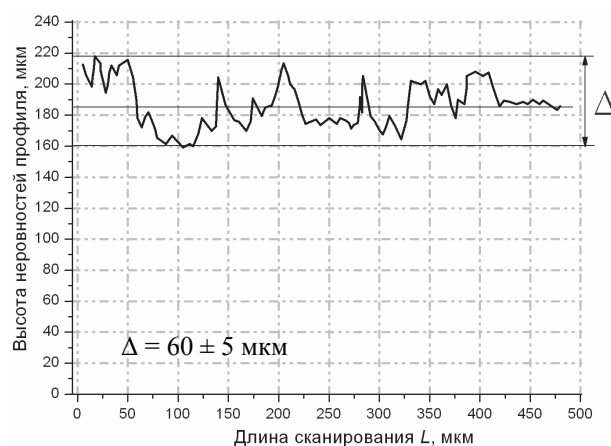


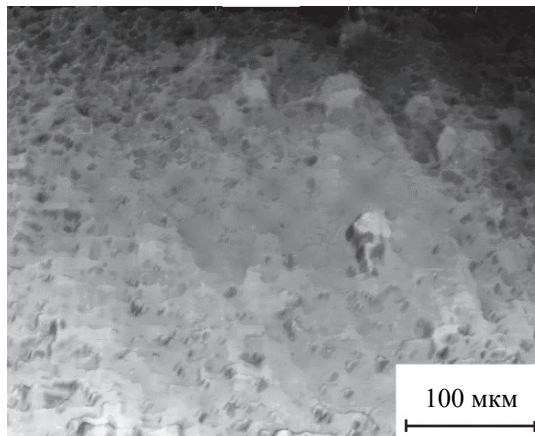
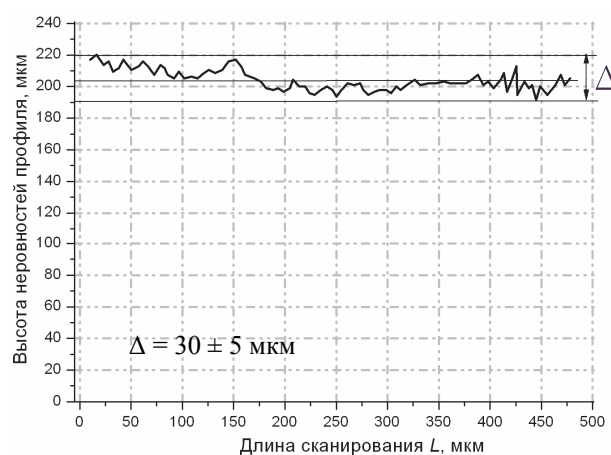
Рис. 2. Микроструктура и усредненный профиль древесины на поверхности образца  $h$  (а), на глубине  $1/3h$  (б) и на  $1/2h$  образца (в), пропитанного по способу горячей ванны



а



б



в

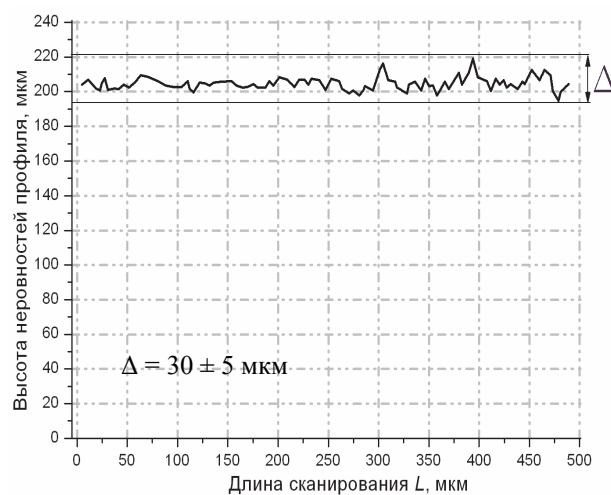


Рис. 3. Микроструктура и усредненный профиль древесины на поверхности образца  $h$  (а), на глубине  $1/3h$  (б) и на  $1/2h$  образца (в), пропитанного в условиях термоконтрастного воздействия

**Вывод.** На основе разработанной методики контроля заполнения древесины модификатором по сканированию поверхности вдоль волокон с применением конфокальной микроскопии предложен метод расчета степени наполнения древесного образца, основанный на количественном анализе объемов заполненных полостей капиллярно-сосудистой системы древесины с учетом кинетики изменения ее влажности во

время пропитки. Исследования показали, что наиболее полное и равномерное насыщение древесины модификатором реализуется при использовании метода термоконтрастного воздействия. Полученные результаты могут использоваться на практике при контроле равномерности и качества пропитки древесных изделий, где предъявляются повышенные требования к качеству.

### Литература

1. Пятакон В. И., Соколова В. А. Эффективность способов пропитки древесины // Вестник КрасГАУ. 2011. № 5. С. 159–163.
2. Кошелева Н. А., Шейкман Д. В. Исследование процесса пропитки полимерами при модификации малоценных пород древесины // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 14. С. 126–130.
3. Hill C. A. S. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes (Chichester: John Wiley & Sons), 2006.
4. Анненков В. Ф. Древесно-полимерные материалы и технология их получения. М.: Лесная пром-сть, 1974. 87 с.
5. Защита древесины. Способы пропитки: ГОСТ 20022.6-93. Введ. 1995-01-01. М.: Стандартинформ, 1995.
6. Врублевская В. И. Триботехнические характеристики древесины и научные основы создания и применения антифрикционных самосмазывающихся древесно-полимерных материалов: дис. ... докт. техн. наук. Л., 1987. 385 с.
7. Федоров Н. И., Ярмолович В. А. Лесная фитопатология. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2005. 448 с.
8. Родненков В. Г., Купчинов Б. И. К вопросу об определении степени наполнения модифицированной древесины // Весті академії наук БССР. Сер. фізика-технічних наук. 1984. № 2. С. 33–37.
9. Study of the transverse liquid flow paths in pine and spruce using scanning electron microscopy / T. Olsson [et al.] // Journal of Wood Science, 2001. Vol. 47. P. 282–288.
10. Lande S. Development of chemometric models based on near infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis for predicting the treatment level of furfurylated Scots pine. Wood Science Technology. 2008. Vol. 21. P. 210–216.

### References

1. Patyacon V. I., Sokolov V. A. The Effectiveness of methods of wood treatment. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2011, no. 5, pp. 159–163 (In Russian).
2. Kosheleva N. A., Sheykman D. V. Study of the process of impregnation with polymers in the modification of low-value wood species. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of technological university], 2015, vol. 18, no. 14, pp. 126–130 (In Russian).
3. Hill C. A. S. Wood Modification. *Chemical, Thermal and Other Processes* (Chichester: John Wiley & Sons), 2006.
4. Annenkov V. F. *Drevesno-polimernyye materialy i tekhnologiya ikh polucheniya* [Wood-polymer materials and technology of their production]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1974. 87 p.
5. GOST 20022.6-93. Wood protection. Methods of impregnation. Wood protection. The ways of impregnation. Moscow, Standartinform Publ., 1995 (In Russian).
6. Vrublevskaya V. I. *Tribotekhnicheskiye kharakteristiki drevesiny i nauchnyye osnovy sozdaniya i primeneniya antifriktsionnykh samosmazyvayushchikhsya drevesno-polimernykh materialov. Dis. dokt. tekhn. nauk* [Tribotechnical characteristics of wood and scientific bases of creation and application of anti-friction self-lubricating wood-polymeric materials. Doct. Diss.]. Leningrad, 1987. 385 p.
7. Fedorov N. I., Yarmolovich V. A. *Lesnaya fitopatologiya* [Forest Phytopatology]. Minsk, BSTU, Publ., 2005.
8. Rodnenkov V. G., Kupchinov B. I. On the question of determining the degree of filling of modified wood. *Vesti Akademii nauk BSSR* [Bulletin Academy of Sciences of the BSSR], 1984, no. 2, Physical and Technical Science, pp. 33–37 (In Russian).
9. Olsson T., Megnis M., Varna J., Lindberg H. Study of the transverse liquid flow paths in pine and spruce using scanning electron microscopy. *Journal of Wood Science*. 2001, vol. 47, pp. 282–288.
10. Lande S. Development of chemometric models based on near infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis for predicting the treatment level of furfur. *Wood Science Technology*. 2008, vol. 21, pp. 210–216.

### Информация об авторах

**Невзорова Алла Брониславовна** – доктор технических наук, профессор кафедры «Экология и энергоэффективность в техносфере». Белорусский государственный университет транспорта. (34, ул. Кирова, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: anevzorova@bsut.by

**Макеев Вячеслав Валерьевич** – кандидат технических наук, заведующий отделом экологической безопасности и энергосбережения на транспорте ИЦ ЖД «СЕКО». Белорусский государственный университет транспорта (34, ул. Кирова, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: 250882@inbox.ru

**Врублевская Валентина Ивановна** – доктор технических наук, профессор кафедры «Детали машин, подъемные и строительные машины». Белорусский государственный университет транспорта (34, ул. Кирова, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: anevzorova@mail.ru

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

**Nevzorova Alla Bronislavovna** – DSc (Engineering), Professor, the Department of Ecology and Energy Efficiency of Technosphere. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: anevzorova@bsut.by

**Makeev Vyacheslav Valerievich** – PhD (Engineering), Head of the Department of Environmental Safety and Energy Saving in Transport Research Center of the Railway "SECO". Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: 250882@inbox.ru

**Vrublevskaya Valentina Ivanovna** – DSc (Engineering), Professor, the Department of Machine Parts, Lifting and Construction Machines. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: anevzorova@mail.ru

*Поступила 28.02.2018*

УДК 674.816.2

**И. Г. Федосенко, А. В. Усович**

Белорусский государственный технологический университет

**ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ**

В статье описывается исследование влияния структурообразующих факторов на физико-механические свойства древесно-цементных и древесно-гипсовых композиционных материалов.

Оценено влияние различных модифицирующих минеральное связующее добавок на прочность, плотность и стойкость к увлажнению древесно-минеральных композитов. Проведено исследование фракционного состава и начальной влажности древесины на количество наполнителя в композите. Оценено предельное значение уплотнения древесно-минеральной смеси при свободном ее отверждении.

Полученные данные помогут спланировать свойства композиционных материалов на основе измельченной древесины и минеральных вяжущих в процессе производства. Выбор индивидуальных рецептур композиционных материалов для изготовления отдельных изделий и элементов зданий позволит обеспечить рациональную стоимость объектов строительства.

**Ключевые слова:** древесина, портландцемент, гипс, комплексные добавки, размягчение, водостойкость, уплотнение, структура.

**I. G. Fedosenko, A. V. Usovich**

Belarussian State Technological Univesity

**PRODUCTION PLANNING OF PROPERTIES OF WOOD BASED MATERIALS WITH MINERAL BINDERS**

The article describes the study of the influence of structure-forming factors on the physical and mechanical properties of wood-cement and wood-gypsum composite materials.

The influence of various modifying mineral binder additives on the strength, density and resistance to moistening of wood-mineral composites is estimated. Investigation of the fractional composition and the initial moisture content of the wood on the amount of filler in the composite materials. The limiting value of compaction of a wood-mineral mixture with its free curing is estimated.

The obtained data will help to plan properties of composite materials on the basis of chipped wood and mineral binders in the production process. The choice of individual formulations of composite materials for the manufacture of individual products and building elements will provide a rational cost of construction objects.

**Key words:** wood, portland cement, gypsum, complex additives, softening, water resistance, compaction, structure.

**Введение.** Древесные композиционные материалы на основе минеральных вяжущих обладают хорошей тепло- и звукоизоляцией, при этом имеют конструкционную прочность, достаточную для использования в несущих конструкциях малоэтажных зданий. Они экологически безопасны и экономически доступны как в производстве, так и в использовании.

Однако все пористые материалы способны поглощать воду и удерживать ее в своей структуре. Эту способность усиливает наличие древесных частиц с открытой структурой. Содержание воды в древесно-минеральных композиционных материалах способствует снижению их прочности и разрушению кристаллической структуры вяжущих под действием изменения линейных размеров наполнителя. Кроме того, замерзающая вода в структуре любых материалов способна значительно разрушать их структуру с образованием развивающихся трещин.

Из-за того, что композиционные органо-минеральные материалы с пористой структурой имеют пониженную прочность и водостойкость их применение для устройства подвалов и цокольных этажей не допускается.

Прочность древесно-минеральных композиционных материалов можно повысить за счет снижения пористости и оптимально выбранного времени схватывания и отверждения вяжущего, а водостойкость – за счет специальных гидрофобизирующих добавок.

**Основная часть.** С целью определения влияния фракционного состава измельченной древесины на плотность композиционного материала на основе древесины было проведено экспериментальное исследование по определению максимального уплотнения измельченной древесины, измеренного после снятия нагрузки.

В качестве объекта исследования выбрана щепа хвойных пород, без содержания коры,

фракций 20/10, 10/5 и 5/2 мм. Щепа при комнатной температуре была предварительно доведена до влажности: 12, 30, 48, 66, 84% по абсолютной величине.

Уплотнение производили по ГОСТ 22733-2016 [1] в приборе стандартного уплотнения СоюзДорНИИ до максимальной усадки.

По отношению показателей плотности щепы после ( $\rho_{\text{после упл.}}$ ) и до ( $\rho_{\text{до упл.}}$ ) уплотнения определяли коэффициент уплотнения  $K_y$ :

$$K_y = \frac{\rho_{\text{после упл.}}}{\rho_{\text{до упл.}}} \quad (1)$$

Так, при использовании выделенных фракций 20/10, 10/5 и 5/2 мм, как видно из табл. 1, самой предпочтительной является наиболее мелкая щепа фракцией 5/2 мм.

Таблица 1

**Коэффициент максимального уплотнения щепы**

| Фракция | Коэффициент максимального уплотнения $K_y$ при влажности древесины $W$ , % |      |      |      |      |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|         | 12                                                                         | 30   | 48   | 66   | 84   |
| 5/2     | 1,39                                                                       | 1,42 | 1,48 | 1,57 | 1,52 |
| 10/5    | 1,29                                                                       | 1,29 | 1,40 | 1,33 | 1,38 |
| 20/10   | 1,31                                                                       | 1,42 | 1,43 | 1,45 | 1,46 |

С целью оценки влияния смешивания различных фракций для получения более плотной структуры для каждого уровня влажности были построены диаграммы типа «состав – свойство» с коэффициентом максимального уплотнения в качестве выходной величины [2]. Влажность древесины не оказывает значительного влияния на характер изменения коэффициентов уплотнения в зависимости от содержания различных фракций в смеси. На рис. 1 приведена диаграмма, построенная по усредненным значениям коэффициента уплотнения при всех уровнях влажности, позволяющая спрогнозировать запас объема щепы до формирования.

Эти диаграммы показали, что смешиванием фракций добиться большего уплотнения не получится, причем более мелкие частицы, помещенные в пространства между крупными, препятствуют деформации частиц под действием внешнего нагружения. Также фракция щепы 10/5 в смеси с другими не обеспечивает прочного удержания объема после уплотнения, что приводит к значительному восстановлению объема смеси за счет упругих сил. При влажности более 30% щепа крупной фракции 20/10 способна хорошо деформироваться и удерживать структуру после снятия нагрузки. Мелкая фракция 5/2 хорошо уплотняется и удерживает объем из-за возможности частиц малого размера поворачиваться на

нужный угол в формируемой структуре, занимая при этом свободное пространство.

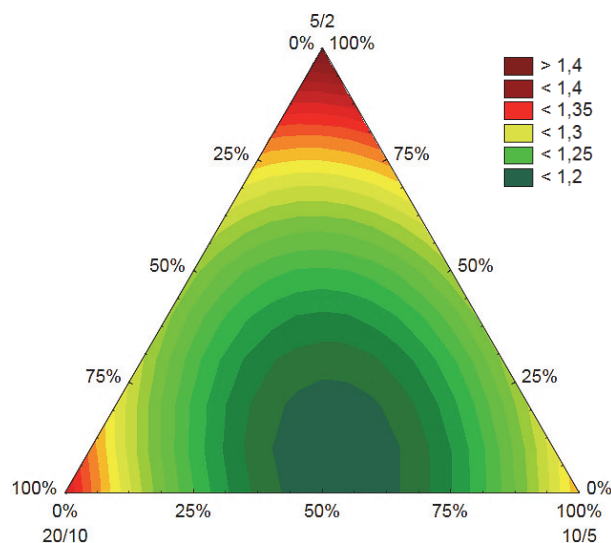


Рис. 1. Диаграмма «состав – свойство»

Были получены эмпирические зависимости, позволяющие определять значение коэффициента уплотнения на разных уровнях влажности (12, 30, 48, 66, 84% соответственно) в зависимости от состава смеси щепы трех фракций (2)–(6).

$$K_y^{12} = 1,2612 \cdot C_{20/10} + 1,3019 \cdot C_{10/5} + 1,3456 \cdot C_{5/2} - 0,3606 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,2206 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,0907 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}, \quad (2)$$

где  $C_{20/10}$ ,  $C_{10/5}$  и  $C_{5/2}$  – соответственно содержание фракций 20/10, 10/5 и 5/2 (в процентах).

$$K_y^{30} = 1,3398 \cdot C_{20/10} + 1,2504 \cdot C_{10/5} + 1,2479 \cdot C_{5/2} - 0,3611 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,3102 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,2588 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}; \quad (3)$$

$$K_y^{48} = 1,3702 \cdot C_{20/10} + 1,3667 \cdot C_{10/5} + 1,4721 \cdot C_{5/2} - 0,5056 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,4301 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,6009 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}; \quad (4)$$

$$K_y^{66} = 1,4123 \cdot C_{20/10} + 1,3237 \cdot C_{10/5} + 1,5069 \cdot C_{5/2} - 0,8278 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,4904 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,5583 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}; \quad (5)$$

$$K_y^{84} = 1,4259 \cdot C_{20/10} + 1,3523 \cdot C_{10/5} + 1,5063 \cdot C_{5/2} - 0,9019 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,8534 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,3096 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}. \quad (6)$$

Гидрофобизация вяжущих проводится путем создания водоотталкивающего барьера [3], уплотнения зерновой структуры смеси [4], в том числе предотвращением трещинообразования в структуре при отверждении [5].

Исследования влияния гидрофобизирующих компонентов на свойства бетонов хорошо изучены [6], однако сведений влияния таких компонентов на неоднородную структуру древесно-минеральных композиционных материалов нет.

Для изучения этого влияния наиболее подходящим древесно-минеральным строительным материалом выбран арболит. В качестве вяжущего был использован портландцемент марки 500 Д-0, в качестве наполнителя – щепа.

Учитывая тот факт, что крупность частиц высокопористых древесно-минеральных композитов является определяющим фактором их прочности ввиду преобладающего количества наполнителя, для определения влияния гидрофобизирующих добавок в вяжущие была выбрана фракция щепы 20/10 мм.

В качестве добавок к вяжущему были выбраны: для создания водоотталкивающего барьера – кремнийорганические жидкости ГКЖ-11П и DALI Гидростоп; для уплотнения структуры – микрокремнезем МКУ-85; для предотвращения трещинообразования при отверждении – суперпластификатор Стахемикс, позволяющий снизить содержание воды при подготовке раствора; для комплексного модифицирования – добавка в раствор Кальматрон-Д [7]. Комплексная добавка в цемент Кальматрон-Д относится к группе новых модификаторов цементных смесей, которые обладают эффектом «самозаживления» мелких трещин при увлажнении.

По рецептурам (табл. 2) были подготовлены смеси вяжущего, после чего при перемешивании с древесным наполнителем были изготовлены образцы кубической формы с длиной ребра 200 мм. Для более полного заполнения образцов наполнителем использовали вибросиловую подпрессовку с нагрузкой не более 20 кг на образец. После формования нагрузку снимали и образцы отверждались в ненагруженном состоянии. Их выдерживали до проектного возраста 32 сут., после чего половину образцов выдерживали в воде с температурой  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$  до максимального водонасыщения [8].

Таблица 2

**Массовые соотношения компонентов  
для приготовления одного образца арболита  
200×200×200 мм**

| Наименование<br>добавки | Соотношение компонентов, кг |      |      |         |
|-------------------------|-----------------------------|------|------|---------|
|                         | цемент                      | вода | щепа | добавка |
| ГКЖ-11П                 | 2,5                         | 2,5  | 1,5  | 0,004   |
| Кальматрон-Д            | 2,5                         | 2,5  | 1,5  | 0,028   |
| Стахемикс               | 2,5                         | 2,5  | 1,5  | 0,025   |
| МКУ-85                  | 2,5                         | 2,5  | 1,5  | 0,25    |
| DALI Гидростоп          | 2,5                         | 2,5  | 1,5  | 0,06    |

Для изучения различий в структурообразовании композита и плотной минеральной смеси аналогичным образом были подготовлены образцы из смесей, в которых в качестве заполнителя использовали песок в пропорции к портландцементу 3 : 1 кубической формы с ребром 100 мм.

Образцы композиционного материала и минеральной смеси были испытаны на сжатие по ГОСТ 10180-2012 [9], а среднюю плотность определяли по ГОСТ 12730.1-78 [10]. Коэффициент размягчения представляет собой отношение предела прочности при сжатии сухого образца к аналогичному показателю образца в водонасыщенном состоянии [11].

Результаты испытания арболита и соответствующих минеральных смесей представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Физико-механические показатели  
арболита с добавками  
(соответствующих минеральных смесей)**

| Название<br>добавки | Плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Прочность<br>при сжатии, МПа |                                      | Коэффициент<br>размягчения |
|---------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
|                     |                                 | сухого<br>образца            | водона-<br>сыщен-<br>ного<br>образца |                            |
| Стахемикс           | 530<br>(2122)                   | 0,918<br>(23,441)            | 0,713<br>(14,211)                    | 0,777 (0,606)              |
| Кальматрон-Д        | 529<br>(2046)                   | 0,988<br>(17,864)            | 0,8<br>(14,637)                      | 0,809 (0,819)              |
| ГКЖ-11П             | 575<br>(2080)                   | 0,994<br>(13,125)            | 0,79<br>(9,622)                      | 0,795 (0,733)              |
| МКУ-84              | 563<br>(2025)                   | 0,720<br>(20,398)            | 0,534<br>(14,650)                    | 0,742 (0,718)              |
| DALI Гидростоп      | 529<br>(2050)                   | 0,597<br>(15,819)            | 0,431<br>(12,179)                    | 0,722 (0,77)               |

Максимальное значение прочности показали образцы с добавкой ГКЖ-11П, однако они обладают большей плотностью и меньшим коэффициентом размягчения в сравнении с комплексной добавкой Кальматрон-Д. Плотность образцов с добавкой Кальматрон-Д на 8,6% меньше, чем у добавки ГКЖ-11П; прочность на 0,6% меньше, а коэффициент размягчения больше на 1,8%.

Минеральная смесь обладает максимальной прочностью при добавлении суперпластификатора Стахемикс, а максимальный коэффициент размягчения показала бетонная смесь с добавкой Кальматрон-Д.

Немного иной подход наблюдается при модифицировании гипса. Строительный гипс отверждается крайне быстро и при производстве плитных древесно-гипсовых композици-

онных материалов этот аспект нежелателен для ряда поточного оборудования. Это вынуждает использовать замедлители схватывания, такие как кислоты, известь [12] и пр. Тем не менее сам гипс способен аккумулировать воду [13] в структуре композита, и он также, как и портландцементные смеси, нуждается в гидрофобизации.

Снизить природный недостаток гипса и обеспечить устойчивость композитов можно несколькими путями: использовать отделочную или конструктивную гидроизоляцию; снизить количество гипса в структуре материала; добавлять химические компоненты, уменьшающие реакционную способность гипса к воде и заполняющие пористую структуру композита [14].

Выбрано комбинированное решение поставленной задачи, состоящее из 2-го и 3-го пути.

В качестве наполнителя использовали стружку фракции 5/2 мм при наполнении измельченной древесиной 20,3% по массе, в то время как стандартная технология предусматривает использование более мелкой фракции стружки и наполнение ею материала не более 15% по массе. Эти меры призваны решить задачу по пути 2.

В качестве химических добавок были использованы гидрофобизирующее кремнийорганическое соединение ГКЖ-11П, ингибиторы схватывания (лимонная кислота и известь), пластификатор и наполнитель – Наногипс, упрочнители (силикагель и лигносульфонаты). Эти меры призваны обеспечить решение задачи по пути 3.

Для того чтобы обеспечивать непрерывный технологический процесс, гипс должен схватываться через установленное время. Учитывая специфику большинства линий, – это от 8 мин и более после затворения водой. С этой целью проведена первая стадия экспериментальных исследований, в которых определяли время начала и окончания схватывания гипса с введенными в рекомендуемых пропорциях добавками на приборе Вика по ГОСТ 23789-79 [15]. Была установлена оптимальная концентрация добавок, позволяющая начать схватывание гипса не ранее чем через 8 мин после приготовления смеси. Так, содержание извести должно быть не менее 14% по массе, лимонная кислота и Наногипс – 0,04% и 1,3% по массе гипса соответственно. Другие добавки не оказывали существенного влияния на время схватывания гипса, но были выбраны следующие концентрации по массе гипса: лигносульфоната и ГКЖ-11П – по 2,5%, а силикагеля – 5%.

Были оценены физико-механические свойства гипсостружечных плит с вышеперечисленными добавками в связующее (табл. 4).

Таблица 4

**Физико-механические показатели  
гипсостружечных плит с добавками в связующее**

| Добавка          | Плотность, кг/м <sup>3</sup> | Водопоглощение, % | Прочность, МПа, при |                                         |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------------|
|                  |                              |                   | изгибе              | растяжении перпендикулярно пласти плиты |
| 1                | 2                            | 3                 | 4                   | 5                                       |
| Известь          | 702                          | 43,85             | 0,8                 | 0,04                                    |
| Лимонная кислота | 753                          | 39,71             | 2,45                | 0,19                                    |
| Наногипс         | 843                          | 35,35             | 1,43                | 0,09                                    |
| Лигносульфонат   | 768                          | 37,44             | 4,05                | 0,27                                    |
| ГКЖ-11П          | 876                          | 22,34             | 4,32                | 0,26                                    |
| Силикагель       | 872                          | 30,4              | 3,99                | 0,28                                    |
| Нет              | 812                          | 34,67             | 3,72                | 0,23                                    |

Очевидно, что применение замедлителей схватывания отрицательно сказывается на свойствах получаемых плит. Так, снижается прочность при изгибе и разрыве перпендикулярно пласти плиты, хотя и наблюдается снижение плотности получаемой плиты.

В результате исследований установлено, что оптимальными добавками служат силикагель и ГКЖ-11П, они увеличивают прочность материала и снижают его водопоглощение. Эти добавки рекомендуют вводить для конструкционных плит из-за того, что они увеличивают плотность материала. Для теплоизоляционных плит выгоднее показала себя добавка лигносульфоната.

**Заключение.** Полученные результаты позволяют планировать свойства древесных материалов на основе минеральных вяжущих прямо на производстве, еще на стадии подготовки сырья.

Для производства конструкционных материалов не рекомендуется использовать щепу фракцией 10/5 мм в чистом виде. Применение смесей больше подходит для получения теплоизоляционных древесно-минеральных материалов или материалов с высоким содержанием минерального вяжущего.

Комплексные добавки в цемент с эффектом «самозаживления» мелких трещин при увлажнении, такие как Кальматрон-Д, способны создать наилучшие условия для получения композиционных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками.

Использовать замедлители схватывания для гипсов нужно только при сильной необходимости, так как это влечет к понижению физико-механических свойств древесно-минерального композиционного материала. Для изготовления конструкционных гипсостружечных плит хорошо подходят кремнийорганические жидкости, а для придания плитам теплоизоляционных свойств – лигносульфонаты.

### Литература

1. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности: ГОСТ 22733-2016. Введ. 01.01.17. М.: Стандартинформ: ИПК Изд. стандартов, 2016. 16 с.
2. Федосенко И. Г., Усович А. В. Определение максимального уплотнения щепы в свободно-насыпанном состоянии в зависимости от начальной влажности // Технология и техника лесной промышленности: тезисы докладов 81-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–12 февраля 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет. Минск: БГТУ, 2017. С. 84.
3. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные минеральные вяжущие материалы: учеб.-практ. пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 544 с.
4. Гринев А. П. Мелкозернистые бетоны для монолитного строительства на основе сырья Ханты-Мансийского автономного округа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2011. 18 с.
5. Структуризация цементных вяжущих матриц многослойными углеродными нанотрубками / Г. И. Яковлев [и др.] // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 22–24.
6. Юхневский П. И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов: монография / П. И. Юхневский. Минск: БНТУ, 2013. 309 с.
7. Состав добавки «Кальматрон» для бетонной смеси или поверхностной обработки бетона: пат. RU 2052413 / Акционерное общество закрытого типа Научно-производственное предприятие «Защита конструкций». Оpubл. 20.01.1996.
8. Федосенко И. Г., Козека Д. В. Исследование влияния гидрофобизирующих добавок на свойства высокопустотного древесно-цементного композиционного материала // Технология и техника лесной промышленности: тезисы докладов 82-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–14 февраля 2018 г. / Белорусский государственный технологический университет. Минск БГТУ, 2018. С. 55.
9. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. Введ. 01.07.13. М.: Стандартинформ: ИПК Изд. стандартов, 2012. 31 с.
10. Бетоны. Методы определения плотности: ГОСТ 12730.1-78. Введ. 01.01.80. М.: Стандартинформ: ИПК Изд. стандартов, 2007. 5 с.
11. Белов В. В., Петропавловская В. Б., Храмов Н. В. Строительные материалы: учеб. для вузов. М.: Изд-во АСВ, 2014. 268 с.
12. Адгезионные свойства гипсового вяжущего в присутствии калийсиликатного цемента / С. А. Сеньков [и др.] // Строительные материалы, 2015. № 1. С. 69–71.
13. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция: монография / В. В. Белов [и др.]; под общ. ред. А. Ф. Бурьянова. М.: Де-Нова, 2012. 196 с.
14. Омурканова А. Т. Микроструктура образцов из гипсовых смесей и композиции // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 1. С. 162–164.
15. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний: ГОСТ 23789-79. Введ. 01.07.1980. М.: Стандартинформ: ИПК Изд. стандартов, 1980. 16 с.

### References

1. GOST 22733-2016. Soils. Laboratory method for determining of maximum density. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 2016. 16 p. (In Russian).
2. Fedosenko I. G., Usovich A. V. [Determination of maximum compaction of chips in free-standing condition depending on the initial humidity]. *Tezisy dokladov 81-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov («Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti»)* [Abstracts of the reports of the 81st scientific and technical conference of professors and teachers, researchers and graduate students ("Technology and technique of the forest industry")]. Minsk, 2017, p. 84 (In Russian).
3. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Stroitel'nyye mineral'nyye vyazhushchiye materialy* [Building mineral astringent materials]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2011. 544 p.
4. Grinev A. P. *Melkozernistyye betony dlya monolitnogo stroitel'stva na osnove syr'ya Hanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga. Avtoref. dis. cand. tekhn. nauk* [Fine-grained concrete for monolithic construction on the basis of raw materials of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Belgorod, 2011. 18 p.
5. Yakovlev G. I., Pervushin G. N., Pudov I. A., Dulesova I. G., Bur'yanov A. F., Saber M. [Structuring cement binders with multi-layered carbon nanotubes]. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials], 2011, no. 11. pp. 22–24 (In Russian).

6. Yuhnevskiy P. I. *Vliyaniye khimicheskoy prirody dobavok na svoystva betonov* [Influence of the chemical nature of additives on the properties of concrete]. Minsk, BNTU Publ., 2013. 309 p.
7. *Sostav dobavki "Kal'matron" dlya betonnoy smesi ili poverkhnostnoy obrabotki betona* [Composition of "Kalmatron" additive for concrete mix or surface treatment of concrete]. Patent RF, no. 2052413, 1996.
8. Fedosenko I. G., Kozeka D. V. [Investigation of the influence of water-repellent additives on the properties of high-hollow wood-cement composite material]. *Tezisy dokladov 82-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov («Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti»)* [Abstracts of the reports of the 82nd scientific and technical conference of professors and teachers, researchers and graduate students («Technology and technique of the forest industry»)]. Minsk, 2018. P. 55 (In Russian).
9. GOST 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 2012. 31 p. (In Russian).
10. GOST 12730.1-78. Concretes. Methods for density determination. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 2007. 5 p. (In Russian).
11. Belov V. V., Petropavlovskaya V. B., Hramtsov N. V. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials]. Moscow, ASV Publ., 2014. 268 p.
12. Sen'kov S. A., Semeynykh N. S., Yakovlev G. I., Polyanskikh I. S. [Adhesive properties of gypsum binder in the presence of potassium silicate cement]. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials], 2015, no. 1, pp. 69–71 (In Russian).
13. Belov V. V., Bur'yanov A. F., Yakovlev G. I., Petropavlovskaya V. B., Fisher H. B., Maeva I. S., Novichenkova T. B. *Modifikatsiya struktury i svoystv stroitel'nykh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya* [Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulphate]. Moscow, De-Nova Publ., 2012. 196 p.
14. Omurkanova A. T. The microstructure of samples from plaster mixes and compositions. *Vestnik KRSU* [Herald of the KRSU], 2017, vol. 17, no. 1, pp. 162–164 (In Russian).
15. GOST 23789-79. Gypsum binders. Test methods. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 1980. 16 p. (In Russian).

#### Информация об авторах

**Федосенко Иван Гаврилович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

**Усович Артем Вячеславович** – магистрант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tankotembl4@gmail.com

#### Information about authors

**Fedosenko Ivan Gavriilovich** – PhD (Engineering), Assisant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

**Usovich Artem Viacheslavovich** – Master's degree student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tankotembl4@gmail.com

Поступила 06.03.2018

УДК 674.048

**Н. В. Мазаник**

Белорусский государственный технологический университет

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ХИТОЗАНА  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГРИБНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Защита древесины от повреждения биологическими агентами, такими как грибы, бактерии и насекомые, позволяет существенно увеличить продолжительность срока эксплуатации деревянных изделий, а следовательно – сократить вырубку лесов. Для предотвращения развития грибов на древесине в настоящее время широко используются антисептики, относящиеся к самым разным группам химических веществ. Признаком, объединяющим все эти вещества, является не только их высокая фунгицидная активность, но и выраженная токсичность по отношению к человеку и теплокровным животным. Существенное ужесточение требований экологической безопасности уже привело к резкому сокращению перечня разрешенных к применению химикатов. Это, в свою очередь, послужило стимулом к развитию направления «экологичной» защиты с использованием натуральных фунгицидов. К сожалению, круг известных на данный момент природных веществ-ингибиторов весьма узок, поэтому исследование новых препаратов представляет несомненный интерес и имеет большую практическую значимость.

Одним из наиболее перспективных натуральных фунгицидов является хитозан. До недавнего времени использование этого вещества в деревообрабатывающей промышленности ограничивалось отсутствием доступного сырья и дешевых технологий экстракции. С появлением в Республике Беларусь предприятий по производству хитозана открывается возможность применения данного вещества в промышленных масштабах, в том числе для защитной обработки древесины. В статье приведены результаты исследования эффективности защиты образцов сосновой древесины по отношению к комплексу деревоокрашивающих грибов при использовании в качестве антисептика раствора хитозана.

**Ключевые слова:** хитозан, древесина, деревоокрашивающие грибы, защита древесины, натуральные препараты, экологическая безопасность.

**N. V. Mazanik**

Belarusian State Technological University

**USE OF CHITOSAN  
FOR THE PROTECTION OF WOOD AGAINST FUNGI**

Protection of wood against deterioration caused by biological agents such as fungi, bacteria and insects allows us to significantly increase the service life of wood products, and consequently – to reduce deforestation. Various antiseptics are widely used today to prevent the development of fungi on timber. Although antiseptics belong to different classes of chemicals, all these substances are characterized not only by their high fungicidal activity but also pronounced toxicity towards humans and warm-blooded animals. Significantly stricter requirements for environmental safety have already led to a drastic reduction in the list of chemicals that are still allowed. This, in turn, served as an incentive to develop the direction of eco-friendly protection with the use of natural fungicides. Unfortunately, the range of currently known natural fungi inhibitors is quite limited, so the study of new substances is undoubtedly interesting and has great practical importance.

One of the most promising natural fungicides is chitosan. Until recently, the use of this substance in woodworking industry was limited by the lack of available raw materials and inexpensive extraction technics. With the advent of enterprises producing chitosan in the Republic of Belarus it became possible to use this substance on an industrial scale, including protective treatment of wood.

The article describes the results of the study devoted to the protective effectiveness of chitosan solution against the complex of wood-discoloring fungi. Evidence suggests that chitosan coating significantly slowed the development of fungi on wood surface in comparison with the untreated specimens in case of 2% solution.

**Key words:** chitosan, wood, wood-discoloring fungi, preservatives, protection of wood, natural substances, environmental safety.

**Введение.** Одним из трендов последних десятилетий в области защиты древесины от повреждения биологическими агентами является

повышенный интерес к использованию природных веществ, обладающих выраженными фунгицидными свойствами и в то же время не

оказывающих отрицательного воздействия на окружающую среду. Данная тенденция объясняется ужесточением требований к безопасности антисептиков, которое уже привело к существенному сокращению перечня разрешенных к применению химикатов [1, 2].

**Основная часть.** Перспективным направлением в сфере «экологичной» защиты древесины может стать исследование фунгицидных свойств хитозана. Хитозан – это линейный полисахарид, состоящий из случайно распределенных бета-(1-4)- связанных D-глюкозамина и N-ацетил-D-глюкозамина. Наличие реакционноспособных функциональных групп обеспечивает широкие возможности для модификации хитозана (сульфатирования, карбоксилирования и т. д.), что позволяет получить богатый спектр производных веществ с заданными характеристиками [3].

Источником хитозана является хитин – один из наиболее распространенных в природе полисахаридов. Он выполняет защитную и опорную функции, обеспечивает жесткость клеточных стенок грибов, является важным компонентом экзоскелета членистоногих. Уникальные свойства хитозана давно привлекали внимание ученых, однако настоящую популярность вещество обрело сравнительно недавно. Причиной этого стала разработка новых технологий извлечения, позволивших существенно снизить стоимость конечного продукта. В настоящее время производство хитозана налажено в 15 странах мира, причем у каждого производителя есть собственные запатентованные технологии его экстракции [4–7]. Примечательно, что одним из лидеров в получении хитина является соседка Беларуси – Российская Федерация: проблемами производства данного вещества и его практического использования занимается Российское хитиновое общество. Выделение чистого хитозана из грибов – сложный и весьма затратный процесс, поэтому сырьем для получения хитина в Российской Федерации служат в основном панцири ракообразных (крыль, камчатский краб) [8]. Отсутствие такого сырьевого источника в нашей стране привело к тому, что еще пять лет назад хитозан завозился в Республику Беларусь только в составе лекарственных средств и биологически активных добавок. Однако высокий спрос на него способствовал запуску собственного производства. В 2014 г. в Брестской области Беларуси ООО «БелРос-БиоТехХитозан» начало выпуск белорусского хитозана. Согласно принятой технологии сырьем служат личинки мух. Развитие личинок до нужного размера занимает 6 дней, из 100 кг личинок получается более 1 кг сухого

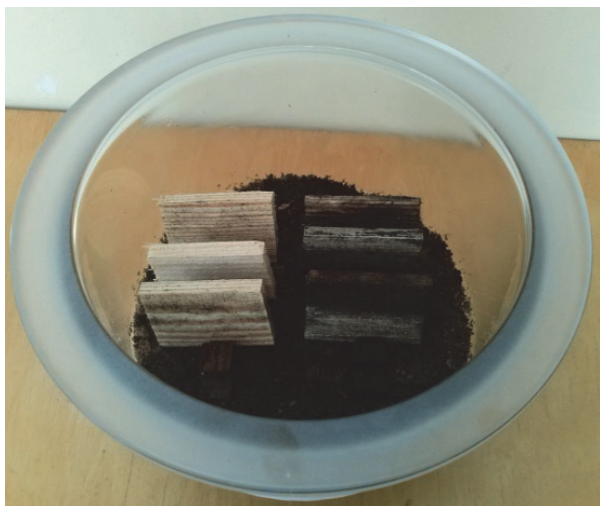
хитозан-меланинового вещества [9]. Как и следовало ожидать, производство дало новый толчок исследованиям в области возможного применения хитозана, в том числе в нашей стране [10, 11].

В целом усилиями мирового научного сообщества к настоящему времени выявлены следующие биологические эффекты хитозана: гипополипидемический и гипохолестеринемический (связывает и выводит из организма избыток жиров и холестерина); гепатопротекторный (снижает нагрузку на печень); регуляторный (регулирует кислотность желудочного сока, обладает противоязвенным действием); антитоксический (связывает и выводит из организма токсичные элементы и кишечные токсины); радиопротекторный (связывает и выводит радиоактивные изотопы); иммуностимулирующий (стимулирует ряд функций иммунной системы, повышает устойчивость организма к инфекциям); антиоксидантный (нейтрализует токсичные перекисные соединения); антибактериальный и противовирусный (угнетает активность ряда микроорганизмов, защищает организм от некоторых вирусных инфекций); регенерирующий (стимулирует заживление ран, язв, ожогов). В качестве важнейшего достоинства отмечается также способность хитозана к биодеградации [12–14].

Тем не менее многочисленные исследования биоцидной активности хитозана в основном сосредоточены на изучении его антибактериальных свойств и антимикотической активности в отношении дрожжевых и дрожжеподобных грибов, тогда как действие хитозана на мицелиальные грибы изучено гораздо в меньшей степени. И все же, известен ряд работ, посвященных перспективам применения хитозановых комплексов для увеличения сроков хранения пищевых продуктов, подверженных поражению анаморфными микромицетами. Среди них можно выделить опыт нанесения хитозановой пленки на поверхность фруктов, а также некоторых ягод [15–18]. В Казанском НИИ эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора и Центре «Биоинженерия» РАН Москвы проводились эксперименты, которые доказали, что низкомолекулярный хитозан ингибирует рост ряда мицелиальных грибов, имеющих медицинское значение [19]. В то же время исследования эффективности хитозана по отношению к деревоокрашивающим и дереворазрушающим грибам не известны.

Целью нашего исследования стало определение ингибирующего эффекта хитозана по отношению к комплексу деревоокрашивающих грибов, являющихся доминирующими при повреждении пиломатериалов на складах

деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь [20, 21]. В качестве экспериментального материала использовали свеже-распиленные образцы древесины сосны размером 75×55×10 мм со средней влажностью 76,2%. Хитозан растворяли в 0,5%-ном растворе уксусной кислоты до концентраций 1 и 2% с добавлением в каждом случае 0,1% поверхностно-активного вещества для улучшения смачивающей способности раствора. Образцы обрабатывались препаратом путем их кратковременного (3 с) погружения в раствор. Количество образцов для каждой концентрации составляло 6 шт., кроме того, в эксперименте использовали 6 контрольных образцов, не подвергавшихся защитной обработке. После нанесения образцы кондиционировали в вертикальном положении при температуре 20°C и влажности воздуха 60% в течение 6 ч и устанавливали в эксикаторы, представляющие собой влажные камеры, содержащие комплекс активных культур грибов (рисунок).



Эксикатор с образцами,  
обработанными раствором хитозана  
и контрольными образцами

В состав комплекса вошли грибы, способные вызывать выраженную синеву, существенно снижающую качество пиломатериала: *Rhinoctadiella atrovirens*, *Oidiodendron griseum*, *Alternaria humicola*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium solitum*. Деревоокрашивающие грибы предварительно выращивались на субстрате из свежих опилок хвойных пород, заполнявшем каждый из эксикаторов на 2/3 его объема. Образцы устанавливались на подставки, предотвращающие их контакт с зараженными опилками и чрезмерное увлажнение древесины. Каждый эксикатор содержал по 3 образца с нанесенным хитозановым покрытием и 3 контрольные

образцы. Полная продолжительность эксперимента составила 20 дней. Каждые 5 дней проводили фиксацию площади поражения образцов грибами. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Результаты эксперимента

| Время<br>от начала<br>экспери-<br>мента | Средняя площадь поражения<br>грибными окрасками, %, на образцах |    |                                          |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------|
|                                         | Обработанных<br>раствором хитозана<br>с концентрацией           |    | не обработанных<br>защитным<br>средством |
|                                         | 1%                                                              | 2% |                                          |
| 0                                       | 0                                                               | 0  | 0                                        |
| 5                                       | 6                                                               | 0  | 7                                        |
| 10                                      | 24                                                              | 3  | 28                                       |
| 15                                      | 33                                                              | 26 | 72                                       |
| 20                                      | 66                                                              | 32 | 100                                      |

Как видно из представленных данных, обработка образцов раствором хитозана позволила существенно замедлить развитие грибных поражений. В случае применения 1%-ного раствора эффект был слабовыраженным, особенно на начальном этапе. Через 10 дней после начала эксперимента ингибирующий эффект не превышал 17%. Стадия развития грибного мицелия на защищенных образцах также несущественно отставала от контрольных образцов – спороношение было интенсивным по всей площади грибницы. В то же время к концу испытания обработка 1%-ным раствором позволила получить сокращение площади поражения на 34%, что является неплохим, но явно неприемлемым на практике результатом. При использовании 2%-ного раствора высокий уровень защищенности сохранялся на протяжении 8–11 дней, что является достаточным для сохранения качества пиломатериалов с учетом средней продолжительности их хранения на складах перед камерной сушкой. Кроме того, на защищенных 2%-ным раствором образцах было отмечено выраженное угнетение спорообразования, сохранявшееся до 16–17 дней.

**Заключение.** Хитозан обладает фунгицидной активностью, которая позволяет использовать данное вещество для подавления роста грибов, вызывающих изменения естественного цвета пиломатериалов, снижающих их качество и рыночную ценность. Рекомендуемая концентрация активного вещества в растворе составляет 2%. При данной концентрации хитозановое покрытие обеспечивает достаточно эффективную защиту пиломатериалов и при сроках хранения не более 10 дней не требует применения дополнительных антисептиков, негативно влияющих на окружающую среду.

### Литература

1. Мазаник Н. В., Федосенко И. Г. Экологические аспекты защиты древесины от биологического повреждения // Труды БГТУ. 2017. № 2: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. С. 279–285.
2. Мазаник Н. В. Современные биозащитные средства для древесины // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 181–184.
3. Физико-химические характеристики хитозан-меланиновых комплексов / А. В. Бакулин [и др.] // Труды БГУ. 2009. Т. 4, ч. 2. С. 290–297.
4. Pochanavanich P., Suntornsuk W. Fungal chitosan production and its characterization // Letters in Applied Microbiology. 2002. Vol. 35. P. 17–21.
5. Elieh-Ali-Komi D., Hamblin M. R. Chitin and Chitosan: Production and Application of Versatile Biomedical Nanomaterials // International Journal of Advanced Research. 2016. No. 4(3). P. 411–427.
6. Hossain M. S., Iqbal A. Production and characterization of chitosan from shrimp waste // Journal of Bangladesh Agricultural University. 2014. No. 12(1). P. 153–160.
7. Abdulkarim A., Isa M. T., Abdulsalam S. Extraction and characterisation of chitin and chitosan from mussel shell // Civil and Environmental Research. 2013. No. 3(2). P. 108–114.
8. Скрябин К. Г., Вихорева Г. А., Варламов В. П. Хитин и хитозан: получение, свойства и применение. М.: Наука, 2002. 368 с.
9. Белорусское хитозановое производство раскрыло свои секреты // Портал «Научная Россия». Минск, 2012. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/belarus-chitosan-details> (дата обращения 01.03.2018).
10. Особенности свойств формовочного раствора и нановолокон из биополимера хитозана / Н. Р. Прокопчук [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 4: Химия, технология орган. в-в и биотехнология. С. 42–48.
11. Использование хитозана в производстве молочных продуктов / Т. В. Буткевич [и др.] // Труды БГУ. 2014. Т. 9, ч. 2: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. С. 181–190.
12. Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications // Progress in Polymer Science. 2006. Vol. 31. No. 7. P. 603–632.
13. Антибактериальная и антимикотическая активность хитозана: механизмы действия и роль структуры / С. Н. Куликов [и др.] // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2009. № 5. С. 91–97.
14. Li Q., Dunn E. T., Grandmaison E. W. Applications and properties of chitosan // Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 1992. No. 7. P. 370–397.
15. Jianming Du, Hiroshi Gemma, Shuichi Iwahori. Effects of Chitosan Coating on the Storage of Peach, Japanese Pear and Kiwifruit // Journal Japan. Soc. Hort. Sci. 1997. No. 66(1). P. 15–22.
16. Ahmed El Ghaouth, Joseph Awl, Rathy Ponnampalam. Chitosan Coating Effect on Storability and Quality of Fresh Strawberries // Journal of food science. 1991. Vol. 56. No. 6. P. 1618–1620.
17. Nadeem Akhtar Abbasi, Zafar Iqbal, Mehdi Maqbool, Ishfaq Ahmad Hafiz. Postharvest quality of mangofruit as affected by chitosan coating // Pak. Journal Bot. 2009. No. 41(1). P. 343–357.
18. Devlieghere F., Vermeulen A., Debevere J. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables // Food Microbiol., 2004. No. 21. P. 703–714.
19. Фунгицидная активность хитозана в отношении мицелиальных грибов / С. Н. Куликов [и др.] // Практическая медицина. 2010. № 1(40). С. 119–120.
20. Мазаник Н. В., Снопков В. Б. Тест-культуры грибов для испытания средств защиты древесины // Труды БГТУ. 2009. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 194–198.
21. Вилейшикова Н. В., Снопков В. Б., Тычино Н. А. Испытание средств химической защиты древесины от деревопоражающих грибов // Известия Белорусской инженерной академии. 2004. № 1(17). С. 57–60.

### References

1. Mazanik N. V., Fedosenko I. G. Ecological aspects of wood protection from biological damage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2, Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, pp. 279–285 (In Russian).
2. Mazanik N. V. Modern wood preservatives. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 181–184 (In Russian).

3. Bakulin A. V., Kurchenko V. P., Sushinskaya N. V., Azarko I. I., Varlamov V. P. Physico-chemical characteristics of chitosan-melanin complexes. *Trudy BGU* [Proceedings of BSU], 2009, vol. 4(2), pp. 290–297 (In Russian).
4. Pochanavanich P., Suntornsuk W. Fungal chitosan production and its characterization. *Letters in Applied Microbiology*. 2002, vol. 35, pp. 17–21.
5. Elieh-Ali-Komi D., Hamblin M. R. Chitin and Chitosan: Production and Application of Versatile Biomedical Nanomaterials. *International Journal of Advanced Research*. 2016, no. 4(3), pp. 411–427.
6. Hossain M. S., Iqbal A. Production and characterization of chitosan from shrimp waste. *Journal of Bangladesh Agricultural University*. 2014, no. 12(1), pp. 153–160.
7. Abdulkarim A., Isa M. T., Abdulsalam S. Extraction and characterisation of chitin and chitosan from mussel shell. *Civil and Environmental Research*. 2013, no. 3(2), pp. 108–114.
8. Skryabin K. G., Vikhoreva G. A., Varlamov V. P. *Khitin i khitozan: polucheniye, svoystva i primeneniye* [Chitin and chitosan: production, properties and application]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 368 p.
9. Belarusian producers of chitosan reveal their secrets. *Portal "Nauchnaya Rossiya"* [Scientific Russia], 2012. Available at: <https://scientificrussia.ru/articles/belarus-chitosan-details> (accessed 01.03.2018).
10. Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S., Vishnevskiy K. V., Prishchepenko D. V. Features of the properties of the molding solution and nanofibers from the biopolymer chitosan. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 4, Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology, pp. 42–48 (In Russian).
11. Butkevich T. V., Varlamov V. P., Evdokimov I. A., Alieva L. R., Kurchenko V. P. The use of chitosan in the production of milk products. *Trudy BGU* [Proceedings of BSU], 2014, vol. 9 (2): Physiological, Biochemical and Molecular Basis of Functioning of Biosystems, pp. 181–190 (In Russian).
12. Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*. 2006, vol. 31, no. 7, pp. 603–632.
13. Kulikov S. N., Tyurin Yu. A., Fassahov R. S., Varlamov V. P. Antibacterial and antimycotic activity of chitosan: mechanisms of action and the role of structure. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii* [Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology], 2009, no. 5, pp. 91–97 (In Russian).
14. Li Q., Dunn E.T., Grandmaison E.W. Applications and properties of chitosan. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*. 1992, no. 7, pp. 370–397.
15. Jianming Du, Hiroshi Gemma, Shuichi Iwahori. Effects of Chitosan Coating on the Storage of Peach, Japanese Pear and Kiwifruit. *Journal Japan. Soc. Hort. Sci.* 1997, no. 66 (1), pp. 15–22.
16. Ahmed El Ghaouth, Joseph Awl, Rathy Ponnampalam. Chitosan Coating Effect on Storability and Quality of Fresh Strawberries. *Journal of food science*. 1991, vol. 56, no. 6, pp. 1618–1620.
17. Nadeem Akhtar Abbasi, Zafar Iqbal, Mehdi Maqbool, Ishfaq Ahmad Hafiz. Postharvest quality of mango fruit as affected by chitosan coating. *Pak. Journal Bot.* 2009, no. 41(1), pp. 343–357.
18. Devlieghere F., Vermeulen A., Debevere J. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiol.* 2004, no. 21, pp. 703–714.
19. Kulikov S. N., Hajrullin R. Z., Tyurin Yu. A., Lisovskaya S. A., Glushko N. I., Levov A. N., Varlamov V. P. Fungicidal activity of chitosan against mycelial fungi. *Prakticheskaya meditsina* [Practical medicine], 2010, no. 1 (40), pp. 119–120 (In Russian).
20. Mazanik N. V., Snopkov V. B. Test-cultures of fungi for the testing of wood preservatives. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2009, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 194–198 (In Russian).
21. Vileishikova N. V., Snopkov V. B., Tychino N. A. Testing the chemical protection of wood from wood-preserving fungi. *Izvestiya Belorusskoy inzhenernoy akademii* [News of the Belarusian Engineering Academy], 2004, no. 1 (17), pp. 57–60 (In Russian).

#### Информация об авторе

**Мазаник Наталья Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nata.mazanik@mail.ru

#### Information about the author

**Mazanik Natallia Vladimirovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: nata.mazanik@mail.ru

Поступила 06.03.2018

УДК 685.363

**А. В. Полховский, С. А. Прохорчик, С. В. Шетько**  
Белорусский государственный технологический университет

### **СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛЫЖ**

Содержание статьи посвящено анализу материалов, применяемых при изготовлении беговых лыж. В зависимости от материала беговые лыжи подразделяются на следующие виды: деревянные, деревопластиковые и пластиковые. Основные виды древесины, используемые при производстве деревянных лыж, – береза, ель, осина, липа, лиственница. Было установлено, что на данный момент полностью деревянные лыжи практически вышли из употребления.

В статье приведены классификации лыж в зависимости от стиля катания и уровня подготовки лыжника, обзор основных конструкций беговых лыж, а также материалов, применяемых при их изготовлении.

Основным материалом, используемым в конструкции лыж на данный момент, является пластик. Современная лыжа представляет собой сложную конструкцию, состоящую из следующих основных частей: оболочка, сердечник и скользящая поверхность.

Оболочка защищает сердечник от внешних механических повреждений. Сердечник является основой всей конструкции. На него приходится главная нагрузка при движении. Существуют различные типы сердечников, которые используют в зависимости от назначения лыж. Скользящая поверхность отвечает за скольжение лыжи по снегу.

Дальнейшее совершенствование лыж может осуществляться по следующим направлениям: совершенствование материала скользящей поверхности; улучшение топографии скользящей поверхности путем разработки новых станков и методов обработки и физико-химической обработкой скользящей поверхности.

**Ключевые слова:** лыжи, оболочка, сердечник, скользящая поверхность, штайншлифт.

**A. V. Polkhovsky, S. A. Prokhorchik, S. V. Shet'ko**  
Belarusian State Technological University

### **MODERN CONSTRUCTIONS AND MATERIALS FOR SKI**

The content of the article is devoted to the analysis of the materials used in the manufacture of cross-country skis. Depending on the material, cross-country skis are divided into the following types: wooden, wood-plastic and plastic. The main types of wood used in the manufacture of wooden skis are: birch, spruce, aspen, linden, larch. It was found that at the moment completely wooden skis almost out of use.

The article presents the classification of skis, depending on the style of skiing and the level of training of a skier.

An overview of the basic designs of cross-country skiing, as well as the materials used in their manufacture. The main material used in the construction of skis at the moment is plastic. A modern ski is a complex structure consisting of the following main parts: the shell, core, and sliding surface.

The shell protects the core from external mechanical damage. The core is the basis of the whole structure. It accounts for the main load when driving. There are different types of cores, which are used depending on the purpose of the ski. The sliding surface is responsible for sliding the ski in the snow.

Further improvement of skis can be carried out in the following areas: improvement of the material of the sliding surface; improvement of the sliding surface topography, through the development of new machines and processing techniques and changes in the physico-chemical treatment of the sliding surface.

**Key words:** skis, shell, core, sliding surface, steinshift.

**Введение.** ГОСТ 17043-1990 [1] регламентирует требования, предъявляемые к лыжам и определяет их конструкцию. В соответствии с ним, допускается три типа конструкций: деревянные трехслойные, состоящие из нижней и верхней пластин и однослойного среднего клина, деревянные четырехслойные, состоящие из нижней и верхней пластин и двухслойного среднего клина, а также деревянные верхняя и нижняя пластины, деревянный двухслойный

средний клин и скользящий слой из полиэтилена. Анализ стандарта показал, что он охватывает только деревянные и деревопластиковые типы конструкций лыж. В то же время современные лыжи в большинстве своем представлены пластиком. А их конструкция отличается от той, что приведена в стандарте. Целью данной статьи является обзор материалов и конструкций, применяемых при производстве современных моделей беговых лыж.

**Основная часть.** В зависимости от вида материалов современные модели беговых лыж подразделяются на следующие типы: деревянные, деревопластиковые и пластиковые.

Беговые лыжи предназначены для передвижения по относительно ровной местности с использованием энергии лыжника.

По стилю катания беговые лыжи подразделяются на следующие виды [2]:

- для классического хода;
- конькового хода;
- комбинированные;
- туристические.

При коньковом стиле катания лыжник своими движениями напоминает конькобежца: он отталкивается от снега внутренней стороной лыжи, перенося вес тела на скользящую лыжу. Затем движение повторяется с другой ноги. Максимальная длина таких лыж 190–192 см. При толчке ногой лыжа в средней части не должна касаться снега, так как это снижает эффективность толчка.

При классическом стиле лыжи располагаются строго параллельно друг другу на специально построенной лыжне.

Классические лыжи, по сравнению с лыжами для конькового хода, более длинные (максимальная длина 205–207 см) и обладают меньшей жесткостью. Она нужна для того, чтобы при толчке лыжа касалась снега средней частью (колодкой) и «работали» держащая мазь или насечки, тогда лыжа не будет проскальзывать назад во время толчка.

Комбинированные лыжи – это лыжи, предназначенные для катания коньковым и классическим ходом. Максимальная длина таких лыж обычно не превышает 200 см. По своей конструкции комбинированные лыжи ближе к классическим по причине того, что на классических все же возможно передвигаться коньковым ходом, а на чисто коньковых лыжах – нельзя: из-за высокой жесткости колодки (части лыжи под ботинком) у лыжника будет отсутствовать фаза отталкивания.

Лыжи для экстремального туризма (Backcountry) предназначены для лыжных походов в условиях отсутствия лыжных трасс, прогулочных лыжней для спортивных, туристических путешествий различного уровня. Отличаются повышенной жесткостью (применяют технологию деревянный наборный клин, сэндвич и т. д.). Также эти лыжи обладают более широкой скользящей поверхностью (более 59 мм), в некоторых моделях лыжи укрепляются металлическим кантом.

В зависимости от уровня подготовки беговые лыжи подразделяются на следующие группы [2]:

- для начинающих;
- среднего уровня;
- экспертного уровня;
- спортсменов.

*Лыжи для начинающих* – тех, кто имеют минимальный опыт катания или не имеют его совсем. Это самая массовая категория беговых лыж, поэтому они сравнительно недороги и вполне универсальны. Как правило, предназначены для классического хода. Отличительная особенность – увеличенная ширина (от 47 до 59 мм). Вес пары таких лыж достигает от 1,4 до 1,7 кг. Часто на них применяется колодка с насечкой, которая не требует использования мази при передвижении классическим ходом.

*Лыжи среднего уровня* – беговые лыжи для лыжников, имеющих отработанные базовые навыки владения лыжами. Такие лыжи приобретают с целью занятия спортом и фитнесом. Отличительной особенностью лыж среднего (спорт и фитнес) уровня является более спортивная геометрия, с шириной талии 44–48 мм, весом 1,3–1,4 кг и увеличенная, по сравнению с лыжами начального уровня, жесткость. На лыжах для спорта и фитнеса используют улучшенные пластики и сердечники для обеспечения лыжнику возможности более динамичной работы и более долгого скольжения в фазе толчка. Насечка применяется редко. Беговые лыжи среднего уровня представлены моделями для всех стилей катания: коньковый, классический и комбинированный ход.

*Лыжи для экспертов* – беговые лыжи для лыжников, имеющих хорошо поставленную и отработанную технику катания в различных условиях. Пара лыж экспертного уровня имеет низкий вес 1,1–1,3 кг, высокую жесткость. Такие лыжи изготовлены из высококачественных материалов. Среди них нет комбинированных, а также на таких лыжах не применяется технология безмазевое держания.

*Лыжи для спортсменов* – представляют собой самые жесткие и быстрые лыжи. Беговые лыжи данного уровня ориентированы на спортсменов и предназначены для участия в соревнованиях. Пара гоночных лыж имеет вес от 0,95 до 1,1 кг. Помимо того, что такие лыжи изготавливаются в нескольких вариантах жесткости, их исполняют в двух-трех вариантах распределения веса лыжника по длине лыжи и в двух вариантах скользящей поверхности (для теплой и холодной погоды). В зависимости от погодных условий в лыжах для спортсменов применяются различные виды «структур» скользящих поверхностей.

Современные спортивно-беговые лыжи имеют в средней части своей конструкции прогиб, в результате чего эта часть находится на

расстоянии 1–2 см от земли. При приложении нагрузки сверху лыжа будет прижиматься к земле. И чем ближе к горизонтальной поверхности, тем мягче считается лыжа.

Далее рассмотрим конструкцию и материалы, применяемые при изготовлении современных моделей спортивно-беговых лыж.

На рис. 1 показаны зоны, из которых состоит лыжа.



Рис. 1. Зоны лыжи

В конструкции беговых лыж можно выделить следующие основные элементы:

- оболочка;
- сердечник;
- скользящая поверхность.

На рис. 2 показана внутренняя конструкция беговой лыжи.

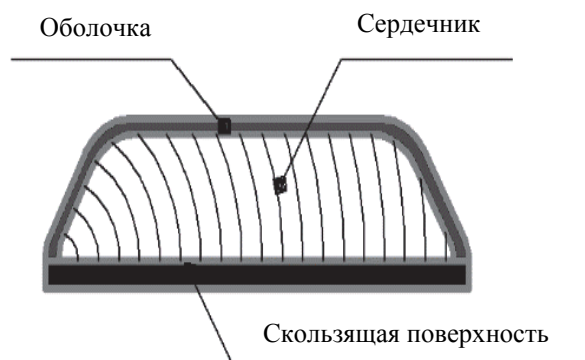


Рис. 2. Конструкция лыжи

Основное назначение оболочки – защита сердечника лыжи от внешних механических повреждений. Помимо этого, он может быть несущим элементом. Основным материалом оболочки – пластик, также в состав ее могут входить сопутствующие материалы: стеклопластик или карбон. Назначение этих материалов заключается в придании оболочке большей жесткости.

Независимо от типа конструкции лыжи, сердечник есть везде. Он является основой всей конструкции. На него приходится главная нагрузка при движении. Также сердечник уменьшает лыжную вибрацию за счет поглощения энергии колебания.

В настоящее время используют четыре основных вида сердечников лыж [3]:

- полностью деревянный;
- деревянный с воздушными каналами;
- из вспененных материалов;
- сотовая структура сердечника.

Сердечник из древесины может быть цельным или наборным, иметь в составе дерево одной породы либо разных, быть коротким и располагаться только под базой или совпадать размерами с лыжами. Наиболее часто применяемые породы древесины: ясень, клен, тополь и осина.

Помимо обычных деревянных сердечников, могут использоваться сердечники из древесины с воздушными каналами. Они позволяют снизить вес лыжи, сохраняя при этом оптимальную жесткость конструкции.

В качестве синтетических сердечников применяют вспененные материалы, такие как акрил и пропилен. Лыжи с подобным типом сердечника используются «продвинутыми» любителями или в тренировках спортсменов.

Самым легким на сегодняшний день типом сердечника считается сотовая структура, которая используется в спортивных моделях лыж.

Скользящая поверхность лыжи (СПЛ) – единая полоска пластика, идущая от носка лыжи до пятки. Отвечает за скольжение лыжи по снегу. Скольжение лыжи происходит ввиду плавления кристаллов снега за счет тепла, выделяющегося при трении [4, 5].

При скольжении лыж объем талой воды зависит от температуры и влажности снега, температуры и влажности воздуха. При температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  лыжи едут как по песку, а минимальное трение соответствует температуре  $(-3)^{\circ}\text{C}$ – $(-5)^{\circ}\text{C}$  [4, 6].

В первых пластиковых лыжах применялся легко стираемый и плохо держащий смазку АБС пластик, который практически полностью вытеснен из рынка изготовления лыж полиэтиленом сверхвысокой молекулярной массы UHMW-PE, за исключением самых дешевых моделей некоторых производителей [2].

Крупные современные производители изготавливают скользящую поверхность из синтезированного полиэтилена сверхвысокого молекулярного веса (High Performance Polyethylene – HPPE). Общепринятое название материала – Р-Тех [2]. В материал, предназначенный для обычных массовых лыж для мороза, добавляется 5–15% наполнителя – частицы углерода размером 20 мкм для снятия электростатики, а также графита и фторуглеродистых соединений для улучшения скольжения [2]. Технический углерод делает основу лыжи черной, но и несколько уменьшает ее износостойкость. Соединения галлия добавляют пластику теплопроводность, та-

кое же свойство у нитрида бора, но эта добавка дополнительно уменьшает способность впитывать влагу. Пигмент ультрамарин используют в лыжах без технического углерода для создания рисунка на основе и улучшения скольжения [2].

На скользящей поверхности лыж для начинающих, и иногда в лыжах среднего уровня применяется насечка [6]. Насечками называется специальная структура, напоминающая форму рыбьей чешуи. Она накладывается на одну треть длины лыжи в области колодки (часть лыжи под ботинком). Профиль структуры клиновидный, что не мешает ей скользить вперед, но полностью предотвращает отдачу.

Преимуществом лыж с насечкой является то обстоятельство, что они не требуют смазки, на них эффективны подъемы, при любой погоде лучше катятся вперед, чем назад [6].

Недостаток – на жесткой, леденистой лыжне такие лыжи будут держать не очень хорошо, слегка отдавать, т. е. проскальзывать назад, заметно тормозить при спусках и на ровной поверхности [6].

Лыжи без насечек полностью гладкие, без каких-либо резких выбоин и впадин на скользящей стороне. Это говорит о том, что такая поверхность идеально подойдет для конькового хода.

Преимущества лыж без насечки: гораздо быстрее лыж предыдущего типа, отлично приспособлены к коньковому ходу [6].

Недостатки лыж без насечки: перед каждой поездкой лыжи необходимо смазать специальной мазью и этот процесс занимает время [6].

Также в основе лыжи в области колодки может быть утоплена резиновая полоса. Такие лыжи предназначены для плюсовой мокрой лыжни и имеют довольно узкий погодный диапазон использования. Современный безмазевый вариант отталкивания – это прикрепление под колодкой имитации «шкур», что в названии лыж указывается как «skin». Также для удержания лыжи под колодку может наклеиваться специальная липкая лента или в конструкции применяются различные механические формы зацепов, не препятствующие скольжению, но работающие при отталкивании [2].

Заводское нанесение «структуры» на скользящую поверхность адаптирует лыжи к строго определенным условиям использования: температура воздуха, влажность, состояние снега, стиль передвижения. Также «структура» улучшает скольжение за счет уменьшения площади контакта со снегом и снижения эффекта подсаживания в результате разрыва водяной пленки, образующейся при скольжении [2].

Механическая обработка скользящей поверхности лыж может быть разделена на две группы: штайншлифт и циклевка. На данный момент об-

щепринятым способом обработки поверхности лыж является штайншлифт [7]. Циклевка, несмотря на ряд преимуществ, не применяется крупнейшими производителями лыж [8].

При штайншлифте на скользящую поверхность лыж наносится «структура», представляющая собой систему бороздок, чем-то напоминающую канавки на автомобильных покрышках. Они способствуют отводу лишней воды [9].

Недостатком этого метода является то, что при штайншлифте возникает микроворс и поверхность требует неоднократной обработки парафином [10].

Еще одним конструктивным элементом лыжи служит желоб – это полоса посередине скользящей поверхности вдоль всей длины лыжи. Желоб обеспечивает направление движения и отводит влагу, образующуюся при таянии снега. Некоторые производители делают лыжи с двумя желобами [3].

Важное качество современных лыж – их внешний вид. Рисунок на верхнее покрытие можно нанести тремя способами: трафаретной печати, сублимации и прямой цифровой печати. При трафаретной печати краска наносится на шаблоны и вдавлируется в верхнее покрытие. Сублимация похожа на временную татуировку: рисунок сначала печатается на сублимационной бумаге, а затем при нагревании переносится на верхнее покрытие лыжи. При использовании прямой цифровой печати материал верхнего покрытия загружается в специальный принтер, который печатает идеально четкое изображение сразу на него [11]. Поверх рисунка для его защиты и улучшения внешнего вида лыж наносится специальный лак ультрафиолетового отверждения.

**Заключение.** За последние десятилетия современный рынок спортивно-беговых лыж претерпел сильные изменения. Появление новых материалов и технологий преобразовало беговые лыжи. На смену древесине пришел пластик – они стали более скользкие благодаря пластику, легкие благодаря сотовым и другим синтетическим наполнителям.

Изменились скользящие поверхности. В спортивно-беговых моделях лыж они изготавливаются из аморфного полиэтилена с высоким молекулярным весом. Различаются содержанием добавок, например графита (черная скользящая поверхность) или фторуглерода (цветные вкрапления на пластике), «впечатаемого» в структуру пластика. На простых моделях лыж применяется пластик с обычной молекулярной структурой и без добавок – он скользит хуже, более мягкий, зато гораздо дешевле и легче поддается реставрации.

Что касается дальнейшего развития лыж, то можно выделить следующие направления [12]:

- разработка новых материалов скользящей поверхности:

- 1) чистый без добавок СВМПЭ с максимально возможным молекулярным весом;
- 2) сверхвысокомолекулярный полиэтилен, усиленный частицами квазикристаллов;
- 3) фторопласт с разветвленной молекулярной структурой;
- 4) стандартный фторопласт (тефлон) для мокрого снега;
- 5) для условий холодного сухого снега заменить добавки сажи в скользящую поверхность лыж (СПЛ) на интенсивный черный краситель. Это приведет к повышению износостойкости, гидрофобности, уровня поглощения солнечной радиации (увеличение температуры) и к понижению теплопроводности СПЛ. А эти изменения вызовут улучшение скольжения лыж;
- улучшение топографии скользящей поверхности:

1) создание станков, способных генерировать адекватные структуры, но не создавать микроворс;

2) методы и приборы для создания случайных структур;

3) станки и ручные приспособления для создания х-образных и других непродольных структур;

4) методы, станки и ручные приспособления, способные производить кратероподобные структуры для холодного и сухого снега;

– изменения в физико-химической обработке скользящей поверхности:

1) применения парафинов для коррекции неоптимальной топографии скользящей лыжной поверхности;

2) для улучшения химии внешнего слоя могут использоваться фтороуглероды;

3) мази скольжения оказывают вредное влияние на окружающую среду, поэтому имеет смысл пересмотреть необходимость их применения.

### Литература

1. Лыжи. Технические условия: ГОСТ 17043-1990. Введ. 09.01.1990. М.: Изд-во стандартов, 1990. 16 с.
2. Горные вершины [Электронный ресурс] / Обзор: типы и характеристики беговых лыж. URL: <https://mountainpeaks.ru/reviews/begovye-lyzhi/on-the-types-and-characteristics-of-the-cross-country-ski-trail/> (дата обращения: 23.10.2018).
3. Беговые лыжи [Электронный ресурс] / Конструктивные особенности беговых лыж. URL: <http://102ski.ru/index.php/2009-12-19-15-11-50/15-design-bl> (дата обращения: 23.10.2018).
4. Bowden F. P., Hughes T. P., Mechanism of Sliding on Ice and Snow // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1939. No. 172(949). P. 280–298.
5. Tusima K., Yosida Z., Melting of Ice by Friction // Low Temperature Science. Series A, 1969. No. 27. P. 17–30.
6. Aktivno Otdyhaem [Электронный ресурс] / Какие лыжи лучше с насечками или без? URL: [http://aktivnootdyhaem.ru/begovye\\_lyzhi/kakie\\_lyzhi\\_luchshe\\_s\\_nasechkami\\_ili\\_bez.php](http://aktivnootdyhaem.ru/begovye_lyzhi/kakie_lyzhi_luchshe_s_nasechkami_ili_bez.php). (дата обращения: 24.10.2018).
7. Mathia T. G., Zahouani H., Midol A., Topography, wear and sliding functions of skis // Int. Journal Machine Tools Manufact, 1992. No. 32. P. 263–266.
8. Kuzmin L., Tinnsten M., Contact angles on the running surfaces of cross-country skis, in the Impact of Technology on Sport. A. Subic and S. Ujihashi // Editors. 2005. Australasian Sports Technology Alliance Pty Ltd: Melbourne, Australia. P. 318–323.
9. Спортивная линия [Электронный ресурс] / Что такое структура скользящей поверхности. URL: [http://skiline.ru/sport-technology/1264-what\\_is\\_the\\_structure\\_of\\_the\\_sliding\\_surface\\_of\\_the\\_ski](http://skiline.ru/sport-technology/1264-what_is_the_structure_of_the_sliding_surface_of_the_ski). (дата обращения: 24.10.2018).
10. Ducret S. Friction and abrasive wear of UHWMPE sliding on ice. Wear, 2005. 258 (1–4). P. 26–31.
11. Горнолыжный портал – SKI.RU [Электронный ресурс] / Из чего состоят ваши лыжи. URL: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/iz-chego-sostoyat-vashi-lyzhi/> (дата обращения: 24.10.2018).
12. Поверхностное трение скольжения лыж: природа, пути и методы его улучшения. URL: [http://www.kuzmin-skitech.ru/wp-content/uploads/2016/08/nauchnaja\\_ru.pdf](http://www.kuzmin-skitech.ru/wp-content/uploads/2016/08/nauchnaja_ru.pdf) (дата обращения: 24.10.2018).

### References

1. GOST 17043-1990. Skiing. Technical conditions. Moscow, Standards Publ., 1990, 16 p. (In Russian).
2. *Gornye vershiny. Obzor: tipy i kharakteristiki begovykh lyzh* [Mountain peaks. Overview: types and characteristics of cross-country skiing]. Available at: <https://mountainpeaks.ru/reviews/begovye-lyzhi/on-the-types-and-characteristics-of-the-cross-country-ski-trail/> (accessed 23.10.2018).

3. *Begovyye lyzhi. Konstruktivnyye osobennosti begovykh lyzh* [Cross-country skiing. Design features of cross-country skiing]. Available at: <http://102ski.ru/index.php/2009-12-19-15-11-50/15-design-bl> (accessed 24.10.2018).
4. Bowden F. P., Hughes T. P., Mechanism of Sliding on Ice and Snow. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1939, no. 172 (949), pp. 280–298.
5. Tusima K., Yosida Z., Melting of Ice by Friction. *Low Temperature Science. Series A*, 1969, no. 27, pp. 17–30.
6. *Aktivno otdykhayem. Kakiye lyzhi luchshe s nasechkami ili bez?* [Aktivno Otdyhaem. Which skis are better with or without notches?]. Available at: [http://aktivnootdyhaem.ru/begovye\\_lyzhi/kakie\\_lyzhi\\_luchshe\\_s\\_nasechkami\\_ili\\_bez.php](http://aktivnootdyhaem.ru/begovye_lyzhi/kakie_lyzhi_luchshe_s_nasechkami_ili_bez.php) (accessed 24.10.2018).
7. Mathia T. G., Zahouani H., Midol A., Topography, wear and sliding functions of skis. *Int. Journal Machine Tools Manufact.*, 1992, no. 32, pp. 263–266.
8. Kuzmin L., Tinnsten M., Contact angles on the running surfaces of cross-country skis. Impact of Technology on Sport, A. Subic and S. Ujihashi. *Editors*. 2005, Australasian Sports Technology Alliance Pty Ltd: Melbourne, Australia, pp. 318–323.
9. *Sportivnaya liniya. Chto takoye struktura skol'zyashchey poverkhnosti* [Sports line. What is the structure of the sliding surface]. Available at: [http://skiline.ru/sport-technology/1264-what\\_is\\_the\\_structure\\_of\\_the\\_sliding\\_surface\\_of\\_the\\_ski](http://skiline.ru/sport-technology/1264-what_is_the_structure_of_the_sliding_surface_of_the_ski) (accessed 24.10.2018).
10. Ducret S., Friction and abrasive wear of UHMWPE sliding on ice. *Wear*, 2005, no. 258(1–4), pp. 26–31.
11. *Gornolyzhnyy portal – SKI.RU. Iz chego sostoyat vashi lyzhi* [Ski portal - SKI.RU. What are your skis made of?]. Available at: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/iz-chego-sostoyat-vashi-lyzhi/> (accessed 24.10.2018).
12. *Poverkhnostnoye treniye skol'zheniya lyzh: priroda, puti i metody ego uluchsheniya* [Surface sliding friction of skis: nature, ways and methods for its improvement]. Available at: [http://www.kuzmin-skitech.ru/wp-content/uploads/2016/08/nauchnaja\\_ru.pdf](http://www.kuzmin-skitech.ru/wp-content/uploads/2016/08/nauchnaja_ru.pdf) (accessed 24.10.2018).

#### Информация об авторах

**Полховский Антон Викторович** – магистр технических наук, инженер кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antopolx1@mail.ru

**Прохорчик Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, декан заочного факультета. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: prohor@tut.by

**Шетько Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tidid@belstu.by

#### Information about of authors

**Polkhovsky Anton Viktorovich** – Master of Engineering, engineer, the Department of Technology and Design of Wood Products. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antopolx1@mail.ru

**Prokhorchik Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Dean, the Correspondence Faculty. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohor@tut.by

**Shet'ko Sergey Vasil'yevich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Technology and Design of Wood Products. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tidid@belstu.by

Поступила 06.03.2018

УДК 667.63

**С. А. Прохорчик, А. Ю. Кисель**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛКИ МАСЛАМИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ  
ЛИСТВЕННИЦЫ И ТЕРМОДРЕВЕСИНЫ,  
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ**

Были рассмотрены основные проблемы, с которыми сталкиваются в процессе отделки древесины лиственницы и термодревесины масляными лакокрасочными материалами, а также проведены исследования по оценке атмосферостойкости масляных покрытий, нанесенных на различные виды изделий из древесины.

Для проведения испытаний были подготовлены образцы террасной доски из древесины лиственницы и термодревесины ясеня.

В качестве защитных материалов применялись тиковое масло и масло для термодревесины итальянских производителей.

Ускоренные испытания образцов проводились на климатической установке Gardner Wheel в соответствии со стандартом СТБА (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement). В ходе испытаний были установлены дефекты, ухудшающие внешний вид изделий из древесины, эксплуатируемых на открытом воздухе. По результатам испытаний были определены варианты защитно-декоративных покрытий для отделки изделий из древесины лиственницы и термодревесины.

**Ключевые слова:** лиственница, термодревесина, масла, аппарат искусственной погоды, адгезия, отслаивание, степень меления, блеск.

**S. A. Prokhorchik, A. Yu. Kisel**

Belarusian State Technological University

**SPECIAL TECHNIQUES IN FINISHING OF LARCHWOOD AND THERMOWOOD  
EXPOSED TO WEATHER WITH OIL**

The main problems faced in the process of finishing larch wood and ThermoWood with oil paints were considered, as well as studies to assess the weather resistance of oil coatings applied to various types of wood products.

Samples of decking made of larch wood and ash ThermoWood were prepared for testing.

As protective materials used: teak oil and oil ThermoWood Oil, Italian manufacturers. Accelerated corrosion testing of the samples was carried out on the climate control system "Gardner Wheel" in accordance with the standard CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement). During the tests, defects were found that worsen the appearance of wood products operated in the open air. According to the test results, the variants of protective and decorative coatings for finishing products made of larch wood and ThermoWood were determined.

**Key words:** larch, ThermoWood, oils, climatic installation, adhesion, exfoliation, degree of grinding, shine.

**Введение.** Защита изделий из древесины, эксплуатируемых на открытом воздухе, является обязательной для обеспечения им долговечности.

Условия эксплуатации таких изделий предъявляют к лакокрасочным материалам (ЛКМ) особые требования: механическая прочность и влагостойкость, устойчивость к воздействию влаги, солнечного излучения, холода и тепла.

Одним из атмосферостойких древесных конструкционных материалов является древесина лиственницы, из которой изготавливают террасную доску, планкен и многое др. Это обусловлено тем, что данная порода обладает красивой текстурой и природной стойкостью к атмосферным воздействиям. На практике существуют претензии потребителей на возникновение в не-

которых случаях ухудшения внешнего вида – темных точек на поверхности в процессе эксплуатации в весенне-летний и летне-осенний периоды года. Потому интересным с научной и практической точки зрения является выявление такого дефекта и причин его проявления.

Также в качестве конструкционного материала в последнее время начинает широко применяться термодревесина. Хотя она обладает пониженной гигроскопичностью, но применение данного конструкционного материала совсем невозможно без обработки защитными составами. Так как данная древесина сереет, несмотря на термообработку, в целях сохранения цвета ее требуется защищать. Для этого используются различные защитные пропитки или масла.

Основная проблема при отделке термодревесины маслами – вымываемость таких материалов из древесины в процессе эксплуатации, поэтому подбор ЛКМ для древесины является актуальным. В последнее время для отделки изделий широко используются масляные ЛКМ, обладающие экологической чистотой и обеспечивающие изделиям хороший внешний вид, а также долговечность и устойчивость к воздействию атмосферных факторов.

В связи с вышеизложенным цель настоящей работы заключается в установлении дефектов, которые ухудшают внешний вид изделий из древесины лиственницы, отделанных масляными ЛКМ, и предложении вариантов их решения, а также подбор масляных ЛКМ для отделки термодревесины по результатам ускоренных и натуральных климатических испытаний.

**Основная часть.** Для проведения исследований были подготовлены две серии образцов (террасная доска, планкен) из древесины лиственницы влажностью ( $W = 10\text{--}12\%$ ) и термодревесины влажностью ( $W = 3\text{--}5\%$ ). Размеры образцов для испытаний –  $250 \times 120 \times 20$  мм. Для

объективности эксперимента все образцы выпиливались из одной лиственничной заготовки (террасной доски и планкена), а также из одной заготовки термодревесины. Первая серия образцов была подготовлена для ускоренных испытаний на аппарате искусственной погоды и включала 9 образцов. Вторая серия – для натуральных испытаний в течение одного года и состояла из 20 образцов.

Для испытаний применялись наиболее распространенные масляные ЛКМ (Teak Oil производства итальянской компании Borma, ThermoWood Oil производства компании Borma и OLL3729 производства итальянской компании Sayerlack). Каждое из масел было представлено в двух вариантах (пигментированное и непигментированное).

Отделка поверхности образцов производилась по следующей технологии: шлифование поверхности образца – P180, нанесение первого слоя масла ( $100 \text{ г/м}^2$ ), сушка ( $20^\circ\text{C}$ ) – 12 ч, шлифование поверхности образца – P240, нанесение второго слоя масла ( $80 \text{ г/м}^2$ ), сушка – 24 ч.

Варианты отделки образцов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Системы отделки, участвующие в ускоренных испытаниях на аппарате искусственной погоды (1-я серия)

| № образца | Порода древесины                 | Вид защитного масла | Вариант материала  |
|-----------|----------------------------------|---------------------|--------------------|
| 1         | Термодревесина ясеня             | ThermoWood Oil      | Непигментированное |
| 2         | Древесина лиственницы            | Teak Oil            | Пигментированное   |
| 3         | Термодревесина ясеня             | ThermoWood Oil      | Пигментированное   |
| 4         | Древесина лиственницы            | Teak Oil            | Непигментированное |
| 5         | Термодревесина ясеня (эстонский) | ThermoWood Oil      | Пигментированное   |
| 6         | Термодревесина ясеня             | OLL3729/00          | Непигментированное |
| 7         | Древесина лиственницы            | OLL3729/00          | Непигментированное |
| 8         | Термодревесина ясеня             | OLL3729/00          | Пигментированное   |
| 9         | Древесина лиственницы            | OLL3729/00          | Пигментированное   |

Таблица 2

Системы отделки, участвующие в натуральных испытаниях (2-я серия)

| № образца | Порода древесины                   | Вид защитного масла | Вариант материала  |
|-----------|------------------------------------|---------------------|--------------------|
| 1         | Термодревесина ясеня (планкен)     | ThermoWood Oil      | Непигментированное |
| 2         | Термодревесина ясеня (планкен)     | ThermoWood Oil      | Пигментированное   |
| 3         | Термодревесина ясеня (терр.доска)  | ThermoWood Oil      | Пигментированное   |
| 4         | Термодревесина ясеня (терр.доска)  | ThermoWood Oil      | Непигментированное |
| 5         | Древесина лиственницы (планкен)    | Teak Oil            | Пигментированное   |
| 6         | Древесина лиственницы (планкен)    | Teak Oil            | Непигментированное |
| 7         | Древесина лиственницы (терр.доска) | Teak Oil            | Пигментированное   |
| 8         | Древесина лиственницы (терр.доска) | Teak Oil            | Непигментированное |
| 9         | Древесина лиственницы (планкен)    | Без отделки         | Без отделки        |
| 10        | Древесина лиственницы (терр.доска) | Без отделки         | Без отделки        |
| 11        | Термодревесина ясеня (терр.доска)  | Без отделки         | Без отделки        |
| 12        | Термодревесина ясеня (планкен)     | Без отделки         | Без отделки        |
| 13        | Термодревесина ясеня (планкен)     | ThermoWood Oil      | Непигментированное |
| 14        | Термодревесина ясеня (планкен)     | ThermoWood Oil      | Пигментированное   |
| 15        | Термодревесина ясеня (терр.доска)  | ThermoWood Oil      | Пигментированное   |
| 16        | Термодревесина ясеня (терр.доска)  | ThermoWood Oil      | Непигментированное |
| 17        | Древесина лиственницы (планкен)    | Teak Oil            | Пигментированное   |
| 18        | Древесина лиственницы (терр.доска) | Teak Oil            | Пигментированное   |
| 19        | Древесина лиственницы (терр.доска) | Teak Oil            | Непигментированное |
| 20        | Древесина лиственницы (планкен)    | Teak Oil            | Непигментированное |

Ускоренные испытания были проведены в лаборатории завода Sayerlack (Италия). Для оценки атмосферостойкости покрытий использовали аппарат искусственной погоды Gardner Wheel, отвечающий требованиям сертификата CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement) Французского института технологии древесины. Аппарат представлен на рис. 1.



Рис. 1. Аппарат искусственной погоды

Аппарат искусственной погоды представляет собой вращающееся колесо, на котором закреплены испытываемые образцы. В процессе вращения образцы попеременно погружаются в воду и подвергаются облучению ультрафиолетовым излучением. Угловая скорость вращения колеса составляет 0,0012 рад/с.

По данным исследований, проведенных Французским институтом технологии древесины, три недели непрерывного испытания на аппарате искусственной погоды эквивалентны одному году натурных испытаний. Аппарат имитирует климатические особенности, характерные для коммуны Фонтенбло (Франция, широта: 48°24' с. ш. долгота: 2°42' в. д.)

Испытание включает в себя 4 этапа, каждый из которых повторяется 336 раз на протяжении трех недель:

этап 1 – воздействие на образец ультрафиолетового излучения в течение 24 мин (люминесцентная лампа мощностью 300 Вт);

этап 2 – выдержка 27 мин при температуре окружающей среды 20°C;

этап 3 – погружение в водопроводную воду в течение 12 мин;

этап 4 – выдержка в течение 27 мин при температуре окружающей среды 20°C.

Натурные испытания образцов в течение одного года были проведены на территории города Минска (Беларусь 53°86' с. ш., 27°55' в. д.) Дата закладки образцов – 19.10.2017 г. Для оценки стойкости покрытий образцы устанавливали на стендах под углом 45° к горизонту лицевой стороной на юг (рис. 2).



Рис. 2. Натурные испытания масляных покрытий

После ускоренных испытаний образцы неделю выдерживали при комнатных условиях, после чего производилась оценка качества тестируемых материалов.

Оценка качества покрытий осуществлялась по следующим показателям: изменение блеска, цвета, адгезионной прочности, визуальные дефекты разрушения

По результатам испытаний были установлены дефекты, которые ухудшают внешний вид изделий из древесины, эксплуатируемых на открытом воздухе. К данным дефектам в соответствии с требованиями ISO 7724-3 относится среднее изменение цвета покрытия и древесины после испытаний [1].

В соответствии с ISO 2813 был установлен средний начальный блеск и фактический блеск покрытий после испытаний [2].

Согласно ISO 4628-2, была произведена оценка степени вздутия покрытия [3].

По ISO 4628-4 была произведена оценка степени растрескивания покрытия [4].

По ISO 4628-5 была произведена оценка степени отслаивания покрытия [5].

Согласно ISO 4628-6, была произведена оценка степени меления покрытия [6].

По ISO 2409 была произведена оценка адгезии покрытия методом решетчатого надреза [7].

Для объективности подхода и применения комплексного показателя количественные значения показателей переводились в балльную шкалу от 0 до 5, где 0 – отлично, 5 – неудовлетворительно.

В результате анализа полученных данных было установлено, что масла, участвующие в ускоренных испытаниях, обеспечивают различную степень защиты древесины. Полученные данные сведены в табл. 3.

По результатам ускоренных испытаний и полученным данным (табл. 3) можно прийти к выводу, что худшую стойкость показало непигментированное масло Teak Oil (Borma) на древесине лиственницы – образец № 4, по следующим показателям: среднее изменение цвета – 4 единицы, степень отслаивания – 5 единиц (рис. 3).

Таблица 3

## Результаты ускоренных испытаний образцов (серия 1)

| Номер образца | Ср. изм. цвета ISO 7724-3 | Ср. нач. блеск ISO 2813 | Итоговый блеск ISO-2813 | Степени вздутия ISO 4628-2 | Степень растреск. ISO 4628-4 | Степень отсл. ISO 4628-5 | Степень меления ISO 4628-6 | Адгезия ISO 2409 | Сумм. результат |
|---------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 1             | 1                         | 0                       | 2                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 3               |
| 2             | 0                         | 2                       | 2                       | 0                          | 0                            | 1                        | 0                          | 0                | 5               |
| 3             | 1                         | 1                       | 1                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 3               |
| 4             | 4                         | 2                       | 2                       | 0                          | 0                            | 5                        | 0                          | 0                | 13              |
| 5             | 2                         | 2                       | 3                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 7               |
| 6             | 1                         | 2                       | 3                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 6               |
| 7             | 2                         | 2                       | 2                       | 0                          | 0                            | 1                        | 0                          | 0                | 7               |
| 8             | 1                         | 0                       | 1                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 2               |
| 9             | 2                         | 3                       | 3                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 8               |



Рис. 3. Образцы № 4 после испытаний

Лучший результат показало пигментированное масло OLL3729/00 (Sayerlack) на термодревесине ясеня – образец № 8 по следующим показателям: среднее изменение цвета – 1 единица, итоговый блеск – 1 единица (рис. 4).

Для сравнения с ускоренными испытаниями в табл. 4 представлены результаты натурных испытаний образцов.



Рис. 4. Образцы № 8 после испытаний

Таблица 4

## Результаты натурных испытаний (серия 2)

| Номер образца | Ср. изм. цвета ISO 7724-3 | Ср. нач. блеск ISO 2813 | Итоговый блеск ISO-2813 | Степени вздутия ISO 4628-2 | Степень растреск. ISO 4628-4 | Степень отсл. ISO 4628-5 | Степень меления ISO 4628-6 | Адгезия ISO 2409 | Сумм. результат |
|---------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 1             | 2                         | 1                       | 3                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 6               |
| 2             | 2                         | 0                       | 2                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 4               |
| 3             | 2                         | 1                       | 2                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 5               |
| 4             | 1                         | 1                       | 2                       | 0                          | 0                            | 2                        | 0                          | 0                | 8               |
| 5             | 2                         | 1                       | 3                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 6               |
| 6             | 4                         | 2                       | 3                       | 0                          | 0                            | 5                        | 0                          | 0                | 14              |
| 7             | 2                         | 1                       | 2                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 5               |
| 8             | 2                         | 1                       | 2                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 5               |
| 9             | 4                         | 4                       | 5                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 13              |
| 10            | 5                         | 4                       | 4                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 13              |
| 11            | 5                         | 3                       | 5                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 13              |
| 12            | 5                         | 3                       | 5                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 13              |
| 13            | 3                         | 2                       | 4                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 9               |
| 14            | 1                         | 1                       | 1                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 3               |
| 15            | 2                         | 2                       | 2                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 6               |
| 16            | 3                         | 2                       | 3                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 8               |
| 17            | 3                         | 1                       | 2                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 6               |
| 18            | 2                         | 2                       | 3                       | 0                          | 0                            | 0                        | 0                          | 0                | 7               |
| 19            | 3                         | 2                       | 3                       | 0                          | 0                            | 3                        | 0                          | 0                | 11              |
| 20            | 3                         | 2                       | 3                       | 0                          | 0                            | 4                        | 0                          | 0                | 12              |

Анализируя данные табл. 4, можно прийти к выводу, что худший результат показало непигментированное масло Teak Oil (Borma) на древесине лиственницы – образец № 20 по следующим показателям: среднее изменение цвета – 3 единицы, степень отслаивания – 4 единицы (рис. 5).

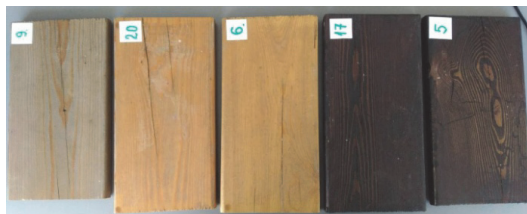


Рис. 5. Образцы № 20 после испытаний

Лучший результат показало пигментированное масло ThermoWood Oil (Borma) на термодревесине ясеня – образец № 2 по следующим показателям: среднее изменение цвета – 2 единицы, остальные контролируемые показали – отличный результат (рис. 6).



Рис. 6. Образцы № 2 после испытаний

Испытуемые образцы террасных покрытий из древесины лиственницы пролежали в течение одного года на открытом воздухе, в результате чего произошло ухудшение внешнего вида покрытия в виде темных точек, которые предположительно являются грибными поражениями и требуют дополнительного изучения (рис. 7).



Рис. 7. Грибные повреждения на древесине лиственницы

**Заключение.** Исходя из данных, полученных в ходе исследований, можно сделать следующие выводы:

- ускоренные и натурные климатические испытания показали худшую атмосферостойкость масляных непигментированных ЛКМ, как на образцах из термодревесины, так и древесины лиственницы;

- произошло снижение значений показателя блеск. Существенная разница наблюдается у покрытий, созданных с помощью масел для термодревесины, нанесенных на древесину ясеня;

- тиковое масло на древесине лиственницы (пигментированное / непигментированное) менее подвержено изменению цвета под действием УФ-излучения, нежели пигментированное масло для термодревесины на древесине ясеня.

- в ходе натурных испытаний на террасных покрытиях из древесины лиственницы было выявлено ухудшение внешнего вида в виде темных точек – вероятнее, грибных поражений. В процессе ускоренных испытаний такой дефект отсутствовал.

С лучшей стороны в ускоренных и натурных испытаниях показало себя пигментированное масло ThermoWood Oil (Borma) на термодревесине ясеня по следующим показателям: (среднее изменение цвета, средний начальный и конечный блеск).

Суммарное количество баллов составило 3. Также достойный результат был достигнут при использовании пигментированного масла OLL3729/00 (Sayerlack) на древесине лиственницы по следующим показателям: (среднее изменение цвета, средний начальный и конечный блеск). Суммарное количество баллов – 5 единиц.

Худший результат в обоих испытаниях был получен при использовании непигментированного тикового масла (Teak Oil) на древесине лиственницы (среднее изменение цвета, отслаивание покрытия). Суммарное количество баллов – 9.

Подводя итог работы, можно сказать, что защиту изделий из древесины более одного года может обеспечить масло OLL3729/00 (Sayerlack) на древесине лиственницы и ThermoWood Oil (Borma) – на термодревесине ясеня.

### Литература

1. Материалы лакокрасочные. Колориметрия. Ч. 3. Расчет цветовых различий: ISO 7724-3. М.: Изд-во стандартов, 1984. 8 с.
2. Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий, не обладающих металлическим эффектом под углом 20°, 60° и 85°: ISO 2813. М.: Изд-во стандартов, 2014. 23 с.

3. Краски и лаки. Оценка степени разрушения покрытий. Обозначение количества и размера дефектов и интенсивности однородных изменений внешнего вида. Ч. 2. Оценка степени вздутия: ISO 4628-2. М.: Изд-во стандартов, 2016. 13 с.
4. Краски и лаки. Оценка степени разрушения покрытий. Обозначение количества и размера дефектов и интенсивности однородных изменений внешнего вида. Ч. 4. Оценка степени вздутия. Оценка степени растрескивания: ISO 4628-4. М.: Изд-во стандартов, 2016. 15 с.
5. Краски и лаки. Оценка степени разрушения покрытий. Обозначение количества и размера дефектов и интенсивности однородных изменений внешнего вида. Ч. 5. Оценка степени отслаивания: ISO 4628-5. М.: Изд-во стандартов, 2016. 6 с.
6. Краски и лаки. Оценка степени разрушения покрытий. Обозначение количества и размера дефектов и интенсивности однородных изменений внешнего вида. Ч. 6. Оценка степени меления: ISO 4628-6. М.: Изд-во стандартов, 2011. 5 с.
7. Краски. Лаки. Испытание методом решетчатого надреза: ISO 2409. М.: Изд-во стандартов, 2007. 5 с.
8. Расев А. И., Косарин А. А. Технология и оборудование защитной обработки древесины: учебник. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. 171 с.
9. Olsson V. Wet storage of timber – problems and solutions: Master of Science Thesis. Stockholm: Royal institute of technology, 2005. 105 p.
10. Ершов Ю. А., Плетенева Т. В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989. 271 с.
11. Индейцева И. П. Масла для отделки древесины: через века – в наши дни // Мебельщик. 2009. № 5 (48). С. 56–57.
12. Brandt E. Linseed oil paint as an alternative to wood preservatives // Materials of 9th International Conference on Durability of Materials and Components. Australia, Brisbane. 2002.
13. Антисептики на основе терпеноидных соединений: получение, свойства и применение / А. Ю. Ключев [и др.] // Труды БГТУ. 2014. № 4: Химия и технология орган. в-в. С. 48–54.
14. Смирнов В. Ф., Кузьмин Д. А., Смирнова О. Н. Действие терпеноидов на физиолого-биохимическую активность грибов-деструкторов промышленных материалов // Химия растительного сырья. 2002. № 4. С. 29–33.
15. Patil A., Laddha A., Lunge A., Paikrao H. In vitro antagonistic properties of selected *Trichoderma* species against tomato root rot causing *Pythium* species // International Journal of Science, Environment and Technology, 2012. Vol. 1. No. 4. P. 302–315.

### References

1. ISO 7724-3. Paint materials. Colorimetry. Part 3. Calculation of colour differences. Moscow, Standards Publishing house Publ., 1984. 8 p. (In Russian).
2. ISO 2813. Paint materials. Method for determination of gloss of non-metallic paint films at 20°, 60° and 85°. Moscow, Standards Publishing house Publ., 2014. 23 p. (In Russian).
3. ISO 4628-2. Paints and varnishes – evaluation of degradation of coatings – designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 2. Assessment of degree of blistering. Moscow, Standards Publishing house Publ., 2016. 13 p. (In Russian).
4. ISO 4628-4. Paints and varnishes – evaluation of degradation of coatings – designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 4. Assessment of degree of cracking. Moscow, Standards Publishing house Publ., 2016. 15 p. (In Russian).
5. ISO 4628-5. Paints and varnishes – evaluation of degradation of coatings – designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 5. Assessment of degree of flaking. Moscow, Standards Publishing house Publ., 2016. 6 p. (In Russian).
6. ISO 4628-6. Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 6. Assessment of degree of chalking by tape method. Moscow, Standards Publishing house Publ., 2011. 5 p. (In Russian).
7. ISO 2409. Paints and varnishes – Cross-cut test. Moscow, Standards Publishing house Publ., 2007. 5 p. (In Russian).
8. Rasev A. I., Kosarin A. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye zashchitnoy obrabotki drevesiny* [Technology and equipment for protective wood processing]. Moscow, MGUL Publ., 2010. 171 p.
9. Olsson V. Wet storage of timber – problems and solutions: *Master of Science Thesis*. Stockholm, Royal institute of technology Publ., 2005. 105 p.
10. Ershov Yu. A., Pleteneva T. V. *Mekhanizmy toksicheskogo deystviya neorganicheskikh soyedineniy* [Mechanisms of toxic effect of inorganic compounds]. Moscow, Meditsina Publ., 1989. 271 p.

11. Indeytseva I. P. Oils for wood finishing: through the centuries – in our days. *Mebel'shchik* [Furniture maker], 2009, no. 5 (48), pp. 56–57 (In Russian).
12. Brandt E. Linseed oil paint as an alternative to wood preservatives. *Materials of 9th International Conference on Durability of Materials and Components*. Australia, Brisbane. 2002.
13. Klyuev A. Yu., Kozlov N. G., Procopchuk N. R., Rozkova E. I. Antiseptics based on terpenoid compounds: preparation, properties and application. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 4, Chemistry and Technology of Organic Substances, pp. 48–54 (In Russian).
14. Smirnov V. F., Kuz'min D. A., Smirnova O. N. The effect of terpenoids on the physiological and biochemical activity of fungi-destructors of industrial materials. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2002, no. 4, pp. 29–33 (In Russian).
15. Patil A., Laddha A., Lunge A., Paikrao H. In vitro antagonistic properties of selected *Trichoderma* species against tomato root rot causing *Pythium* species. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 2012, vol. 1, no. 4, pp. 302–315.

#### Информация об авторах

**Прохорчик Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, декан заочного факультета. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: prohor@tut.by

**Кисель Алексей Юрьевич** – магистрант кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. EPIO Industrial (Латвийская Республика) (220006, г. Минск, ул. Кирова, 8, Республика Беларусь). E-mail: a.kisel@epio.com

#### Information about the authors

**Prokhorchik Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Dean, the Correspondence Faculty. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohor@tut.by

**Kisel' Aleksey Yur'yevich** – Master's Degree student, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. EPIO Industrial (Republic of Latvia) (8, Kirova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a.kisel@epio.com

Поступила 06.11.2018

# ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

---

УДК 620.1:621.914.28

**А. А. Гришкевич, С. А. Гриневич, Г. В. Алифировец**  
Белорусский государственный технологический университет

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ПЛОСКИХ НОЖЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФРЕЗ ПРОФИЛИРУЮЩИХ МАШИН**

Большое количество деревообрабатывающих предприятий оснащены фрезерно-брусующими машинами и линиями на их основе. Данный тип оборудования предназначен для производства технологической щепы и пилопродукции (досок или брусьев). Во многих случаях измельченная древесина, получаемая от фрезерно-брусующих линий, будет более качественной, и связано это не столько с качеством резания, сколько с поступаемым для резания сырьем. Технологическая щепа получила широкое распространение в целлюлозном, гидролизном и других производствах в качестве полноценного сырья для выработки ценных продуктов [1]. Важнейшим показателем процесса механической лезвийной обработки древесины, в том числе при агрегатном методе, являются потребление электрической энергии на резание и производительность оборудования. С целью оптимизации данных показателей необходимо обеспечить повышенную стойкость дереворежущего инструмента. Разработка методов увеличения стойкости дереворежущего инструмента позволяет улучшить качество обработки и увеличить производительность оборудования.

В настоящей работе рассмотрен метод ионно-плазменного азотирования для упрочнения поверхностей плоских ножей, его эффективность и влияние на период стойкости ножей.

**Ключевые слова:** фрезерно-брусующий станок, фрезерование, пиломатериал, цилиндрическая фреза, нож, ионно-плазменное азотирование.

**A. A. Grischkevich, S. A. Grinevich, G. V. Alifirovets**  
Belarusian State Technological University

## **THE RESULTS OF STUDIES OF THE LIFESPAN OF A FLAT CYLINDRICAL MILLING CUTTERS PROFILE KNIVES MACHINES**

A large number of woodworking enterprises are equipped with chipper canter machines and lines based on them. This type of equipment designed for the production of technological wood chips and sawn timber (boards or beams). In many cases, the shredded wood produced with chipper canter lines will be better, and this is connected not only with the quality of cut, but incoming raw materials. Technological chips are widely used in pulp mills, hydrolysis and other industries as a valuable raw material for the production of valuable products [1]. The most important indicator of wood mechanical blade processing including at an aggregate method are consumption of electric energy for cutting and productivity of the equipment. In order to optimize these indicators, it is necessary to ensure increased durability of wood-cutting tools. The development of methods to increase the durability of woodworking tools can improve the quality of processing and increase the productivity of equipment.

In the present work the method of ion-plasma nitriding for strengthening the flat knives surfaces, its efficiency and influence on the lifespan of knife is considered.

**Key words:** chipper canter machine, milling, lumber, cylindrical mill, knife, ion-plasma nitriding.

**Введение.** В современных линиях агрегатной переработки бревен широкое распространение получила технология профилирования пиломатериалов с целью увеличения полезного выхода пилопродукции. Режущим инструмен-

том, используемым на профилирующих узлах фрезерно-брусующих машин, являются цилиндрические фрезы, режущие элементы которых – плоские ножи. На процесс резания древесины плоскими ножами оказывают влияние многие

факторы, среди которых можно выделить три основные группы: факторы, относящиеся к исследуемому материалу, факторы, относящиеся к режущему инструменту, режимы резания.

Одними из главных показателей процесса механической обработки древесины, в том числе и при агрегатном методе, являются энергопотребление и производительность. Для их повышения необходимо обеспечить высокую стойкость дереворежущего инструмента. Разработка методов повышения стойкости дереворежущего инструмента позволит увеличить его производительность и качество обработки [2].

**Основная часть.** 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.

Фрезерно-брусующая линия предназначена для переработки бревен диаметром от 10 до 34 см в верхнем срезе бревна и длиной от 2 до 6 м на обрезные доски необходимой толщины и длины и технологической щепы.

В состав фрезерно-брусующей линии входит фрезерно-брусующая машина V25 (рис. 1), предназначенная для изготовления двух- и четырехкантного бруса из бревна при одновременном изготовлении высококачественной щепы из горбыльной части. Станок V25 – это массивная литая конструкция, установленная на прочной раме из профильной стали.

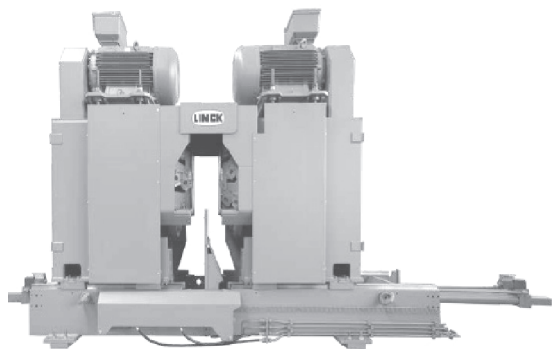


Рис. 1. Фрезерно-брусующая машина V25

Узел первого прохода предназначен для обработки окоренного бревна путем фрезерования горбыльной части с целью получения двухкантного бруса, технологической щепы и поворота полубруса вокруг своей оси на 90°.

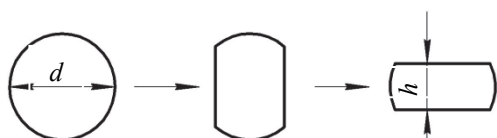


Рис. 2. Схема работы узла 1-го прохода

Узел второго прохода предназначен для фрезерования, профилирования и пиления двухкантного бруса. После его обработки в узле второго прохода образуется четырехкантный брус и две боковые обрезные доски.

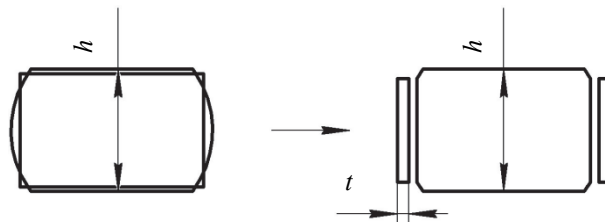


Рис. 3. Схема работы узла 2-го прохода

В состав фрезерно-брусующей линии входит фрезерно-пильная машина VPS22, профилирующая пиломатериал. На рис. 4 показано расположение рабочих органов фрезерно-пильной машины VPS22, на рис. 5 – схема профилирования пиломатериалов.



Рис. 4. Расположение рабочих органов фрезерно-пильного станка VPS22

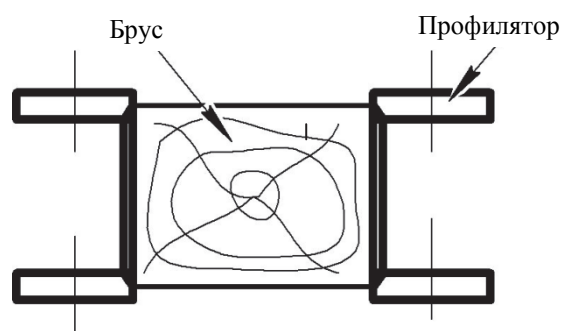


Рис. 5. Схема профилирования пиломатериалов

Режущим инструментом фрезерно-пильной машины VPS22 являются плоские ножи (рис. 6).

Промышленность Республики Беларусь не обеспечивает деревообрабатывающие предприятия страны данным типом инструмента. Поэтому актуальной задачей и целью работы является разработка конструкции дереворежущего

го инструмента для фрезерно-брусующих машин, который по своим характеристикам не будет уступать аналогам импортных производителей.

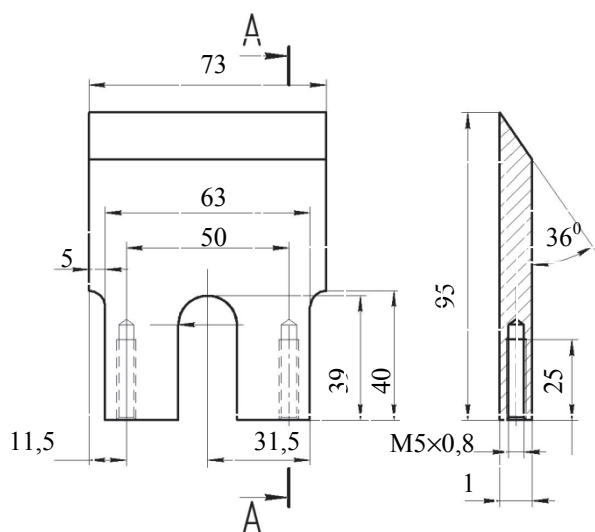


Рис. 6. Плоский нож

Одними из таких фирм производителей являются FABA (Польша), LEITZ и Leuco (Германия). Для реализации поставленной цели была изготовлена опытная партия ножей в количестве 8 шт. Структурный анализ импортных ножей показал, что инструмент изготовлен из стали СТ6Х4М2ФС. Характеристики данного материала схожи с характеристиками стали 8Х6НФТ, соответствующей ГОСТ 5950 «Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия». Однако изготовленная партия ножей не соответствовала критериям поверхностной твердости и коллективом авторов совместно со специалистами ФТИ НАН Республики Беларусь было решено произвести их поверхностное упрочнение методом ионно-плазменного азотирования.

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) – это разновидность химико-термической обработки инструмента, обеспечивающая диффузионное насыщение поверхностного слоя стали азотом или азотом и углеродом в азотно-водородной плазме при температуре 350–600°C.

Преимуществами ионно-плазменного азотирования являются:

- более высокая поверхностная твердость азотированных деталей;
- отсутствие деформации деталей после обработки;
- повышение предела выносливости и увеличение износостойкости обработанных деталей;
- более низкая температура обработки, благодаря чему в стали не происходит структурных превращений;

- сохранение твердости азотированного слоя даже после нагрева до 600–650°C;
- возможность обработки изделий сложных форм;
- отсутствие загрязнения окружающей среды [3].

Для определения оптимальных режимов упрочнения методом ионно-плазменного азотирования было произведено азотирование плоских ножей при разных температурах. В дальнейшем проводились их промышленные испытания с обработанными таким образом ножами на ОАО «Борисовский ДОК».

Результаты испытаний показали, что ножи, упрочненные при температуре 400°C, переработали 400 м<sup>3</sup> древесины и радиус округления режущей кромки составил 436 мкм. Фотографии ножа и слепка режущей кромки представлены на рис. 7 и 8.

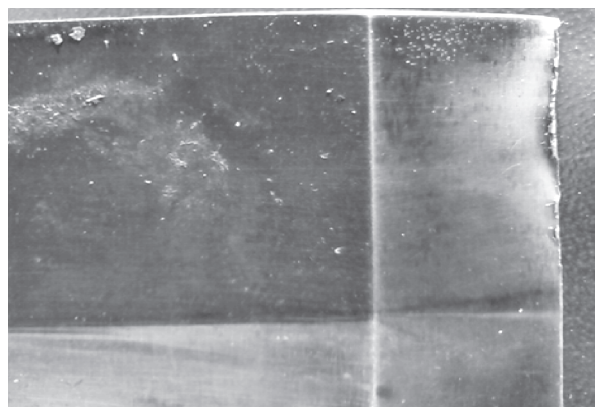


Рис. 7. Фотография ножа (400°C)

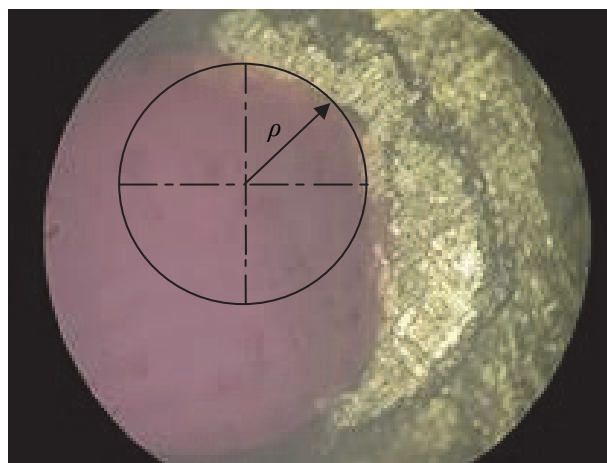


Рис. 8. Фотография слепка режущей кромки ножа (400°C)

Ножи, упрочненные при температуре 450°C, переработали 1500 м<sup>3</sup> древесины и радиус округления режущей кромки составил 314 мкм. Фотографии ножа и слепка режущей кромки представлены на рис. 9 и 10.

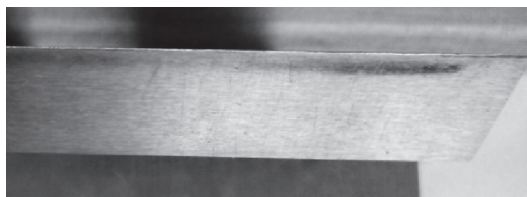


Рис. 9. Фотография ножа (450°C)

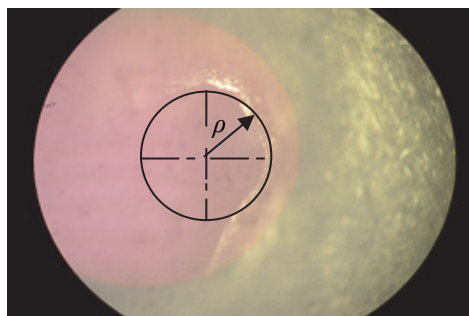


Рис. 10. Фотография слепка режущей кромки ножа (450°C)

Ножи, упрочненные методом ионно-плазменного азотирования при температуре 500°C, переработали 2500 м<sup>3</sup> древесины и радиус округления режущей кромки составил 91 мкм. Ножи производства фирмы FABA переработали также 2500 м<sup>3</sup> древесины и радиус округления режущей кромки составил 85 мкм. Фотографии ножей и слепков режущих кромок представлены на рис. 11–13.



Рис. 11. Фотографии ножей (500°C, FABA)

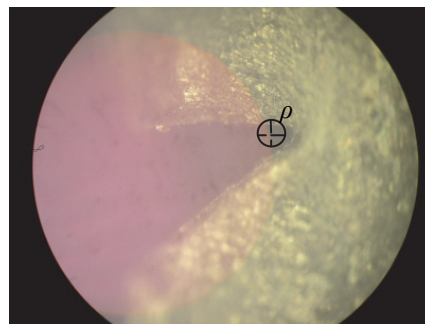


Рис. 12. Фотография слепка режущей кромки ножа производства Республики Беларусь

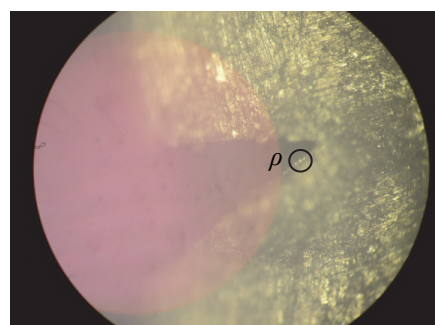


Рис. 13. Фотография слепка режущей кромки ножа фирмы (FABA)

**Заклучение.** Таким образом на основании проведенных исследований можем сделать вывод, что период стойкости ножей отечественного производства, упрочненных методом ионно-плазменного азотирования при температуре нагрева 500°C, сравним с периодом стойкости импортных ножей. Дальнейшие исследования целесообразно продолжить, изучая влияние увеличения температуры при ионно-плазменном азотировании больше 500°C, а также использовать другие марки инструментальных легированных сталей.

### Литература

1. Щепы технологическая. Технические условия: ГОСТ 15815–1983. Введ. 01.01.1985. М.: Изд-во стандартов, 1983. 12 с.
2. Боровиков Е. М., Фефилов Л. А., Шестаков В. В. Лесопиление на агрегатном оборудовании М.: Лесная пром-сть, 1985. 216 с.
3. Влияние ионно-лучевого азотирования дереворежущего инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали, на период его стойкости / А. В. Белый [и др.] // Труды БГТУ, 2016 № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 266–269.

### References

1. GOST 15815-1983. Technological chips. Specification. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1983. 12 p. (In Russian).
2. Borovikov E. M., Fefilov L. A., Shestakov V. V. *Lesopileniye na agregatnom oborudovanii* [Sawmilling on aggregate equipment]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1985. 216 p.
3. 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* [Proceeding of BSTU], 2016, no. 2: Forestry and Woodworking Industry, pp. 266–269 (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** – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alifirovez@tut.by

### Information about the authors

**Grishkevich Aleksander 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** – PhD Student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alifirovez@tut.by

*Поступила 14.03.2018*

УДК 674.055

**О. И. Морозова, А. А. Гришкевич**

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ  
РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ  
В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА**

Шлифование является одним из основных технологических процессов в деревообработке, так как именно этим видом обработки получают высокие классы шероховатости поверхностей по установленному качеству (гладкости обрабатываемой поверхности), требуемых линейных величин по толщине детали (калибрование); одновременно получение и требуемого качества шлифуемой поверхности, и толщины (калибрование-шлифование). Наибольшее распространение данный вид механической обработки получил в мебельном и плитном производствах.

В данной статье описывается расчет экономического эффекта от использования рациональных режимов шлифования древесины с учетом расхода режущего инструмента и энергозатрат на выполнение технологического процесса на лесозаводе филиала ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев».

В данной работе был выполнен анализ по следующим критериям: расчет годовой производительности широколенточного шлифовального станка; расчет затрат на режущий инструмент; расчет заработной платы; расчет затрат на содержание и эксплуатацию оборудования; расчет затрат на сырье; расчет текущих затрат на выпуск продукции и расчет экономического эффекта от внедрения рациональных режимов на широколенточном шлифовальном оборудовании. Величину экономического эффекта от внедрения ресурсосберегающих режимов определяли по годовой экономии дереворежущего инструмента (шлифовальную ленту) и электрической энергии привода резания.

**Ключевые слова:** шлифование, шлифовальная шкурка, зернистость шлифовальной шкурки, метод насыпки абразивного зерна, припуск на обработку, скорость резания, скорость подачи, производительность.

**V. I. Marozava, A. A. Grishkevich**

Belarusian State Technological University

**THE RESULTS OF THE PRACTICAL USE OF RATIONAL  
MODES OF GRINDING OF WOOD BIRCH IN TERMS OF PRODUCTION**

Grinding is one of the main technological processes in derevoobrabotka-ke, as it is this kind of treatment get high classes of the roughness of surfaces on a fixed quality (smoothness of the workpiece), the desired linear gradient along the part thickness (calibration); and simultaneously obtaining the required quality of the ground surface, and thickness (calibration-grinding). The most widespread this kind of machining received in the furniture and Board industries.

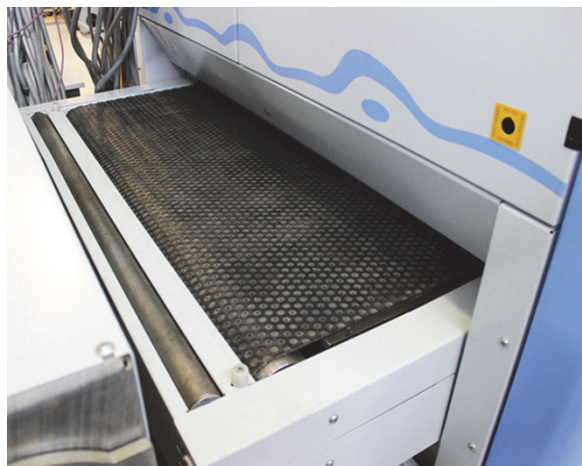
This article describes the calculation of economic effect from the use of rational modes of grinding of wood with the consumption of the cutting tool and energy consumption to perform the technological process at the mill of the branch in "Holding company "Pinskdrrev".

In this paper, analysis was done according to the following criteria: the calculation of the annual performance wide grinding machine; calculation of the cost of the cutting tool, the calculation of wages; calculation of the cost of maintenance and operation of equipment; calculation of the cost of raw materials; the calculation of current costs of production and calculation of the economic effect of the introduction of rational modes of grinding on the wide equipment. The amount of economic effect from the introduction of resource-saving regimes was determined by the annual savings of wood-cutting tools (sanding tape) and the electric energy of the cutting drive.

**Key words:** grinding, grinding emery cloth, the grit of the sandpaper, the method of loading the abrasive grain, the allowance for processing, cutting speed, feed rate, performance.

**Введение.** Оценка эффективности разработанных энергосберегающих режимов шлифования древесины апробировалась на широколенточном станке, расположенном на лесопильном заводе филиала ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев». Данная машина экс-

плуатируется в составе технологического потока при шлифовании мебельного щита, изготовленного из древесины сосны, березы и дуба. Шлифование осуществляется на широколенточном станке BUTFERING STO 313 RRL (рисунк).



Широкополосный шлифовальный станок BUTFERING STO 313 RRL

**Основная часть.** На предприятии шлифуются поверхность древесины березы на следующих режимах:

- скорость подачи  $V_S = 5$  м/мин;
- скорость резания  $V = 20$  м/с;
- припуск на обработку  $h = 0,3$  мм.

В качестве абразива шлифовальной шкурки использовался карбид вольфрама (BK3), метод насыпки абразивного зерна – электростатический, номера зернистости – P80 и P120.

Экономический эффект рассчитан на основании и при использовании разработанных и рекомендованных к внедрению следующих режимов:

- скорость подачи  $V_S = 6$  м/мин;
- скорость резания  $V = 18$  м/с;
- припуск на обработку  $h = 0,2$  мм.

При расчете экономического эффекта за основу была принята «Инструкция по оценке эффективности использования результатов исследований и разработок в промышленности» [1].

Применение данных режимов шлифования позволило увеличить количество обрабатываемого материала до 1000–1300 м п. без появления прижогов на обрабатываемой поверхности.

Величину экономического эффекта от внедрения ресурсосберегающих режимов определяли по годовой экономии дереворежущего инструмента (широкополосной шлифовальной ленты) и электрической энергии привода резания.

Экономический эффект рассчитан по представленной ниже методике:

**1. Расчет годовой производительности широкополосного шлифовального станка.** Находим годовую производительность станка, шт./год, по формуле

$$\Pi = \frac{T \cdot V_S \cdot K_M \cdot K_P}{L}, \quad (1)$$

где  $T$  – фонд эффективного времени в году, при работе предприятия в 2 смены,  $T = 3460$  ч = 207 600 мин;  $V_S$  – скорость подачи, м/мин.

Годовая производительность станка при использовании ресурсосберегающих режимов увеличится в связи с увеличением скорости подачи при шлифовании древесины березы. Тогда коэффициент машинного времени для проектного варианта станка увеличится  $K_M = 0,95$  – это связано с уменьшением простоя оборудования за счет увеличения ресурса режущего инструмента (шлифовальной ленты), улучшения качества получаемой продукции за счет устранения вероятности появления обугливания поверхности резания (прижогов) во время шлифования древесины и увеличения производительности процесса в целом.

**2. Расчет затрат на режущий инструмент.** Расходы на приобретение режущего инструмента  $C_{и}$ , тыс. руб., определяются по формуле

$$C_{и} = N \cdot \Pi_{и}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество шлифовальных лент для выполнения годовой программы;  $\Pi_{и}$  – цена инструмента, тыс. руб.

Время работы до износа, мин,

$$t_{ш} = \frac{S \cdot L_{ш}}{60 \cdot V_e \cdot l_k \cdot a_{p.в} \cdot a_{м.в}}, \quad (3)$$

где  $S$  – износостойкость инструмента, см;  $L_{ш}$  – полная длина шлифовальной шкурки за цикл, см;  $V_e$  – скорость шлифования, см/с;  $l_k$  – длина контакта с древесиной, см;  $a_{p.в}$  – коэффициент использования рабочего времени;  $a_{м.в}$  – коэффициент использования машинного времени.

$$S = 8 \cdot 10^5 \left( \frac{0,01}{q} \right)^{1,15} \cdot \left( \frac{100}{z} \right)^{1,4} \cdot \left( \frac{V_e}{10} \right) \cdot 0,31 \cdot a_{п} \cdot a_{ш}, \quad (4)$$

где  $q$  – удельное давление по виду прижима, Н/см<sup>2</sup>;  $z$  – номер зернистости [3].

При шлифовании хвойных пород древесины мелкозернистыми шкурками  $a_n = 0,35$ ; для шлифовальных шкурок с номерами зернистости 80–25  $a_n = 0,55$ ;  $a_n = 1,0$  для шлифования лиственных пород;  $a_{ш} = 1$  для шлифовальной шкурки на бумажной основе и мездровым клеем;  $a_{ш} = 2,5$  для шлифовальных шкурок на тканевой основе, мездровом клее, с номерами зернистости 20–3;  $a_{ш} = 3$  для шлифовальной шкурки с номерами зернистости 80–25.

$$S = 8 \cdot 10^5 \left( \frac{0,01}{q} \right)^{1,15} \cdot \left( \frac{100}{z} \right)^{1,4} \cdot \left( \frac{V_e}{10} \right) \cdot 0,31 \cdot a_n \cdot a_{ш},$$

$$S = 8 \cdot 10^5 \cdot 0,01437 \cdot 9,51 \cdot 1800 \cdot 0,31 \cdot 1 \cdot 1 = 610 \cdot 10^5 = 61\,000\,000 \text{ см};$$

$$t_{ш} = \frac{S \cdot L_{ш}}{60 \cdot V_e \cdot l_k \cdot a_{p.v} \cdot a_{m.v}} = \frac{610 \cdot 10^5 \cdot 190}{60 \cdot 18\,000 \cdot 15 \cdot 0,66 \cdot 0,95} = \frac{115,9 \cdot 10^8}{10,157 \cdot 10^6} = 11,41 \cdot 10^2 = 1141 \text{ мин} = 19 \text{ ч.}$$

**3. Расчет заработной платы.** Заработная плата производственных рабочих (основная и дополнительная) с отчислениями в бюджет и внебюджетные фонды определяется по формуле (5):

$$C_3 = C_T \cdot K_n \cdot K_d \cdot K_n \cdot T_n \cdot K_p \cdot K_n, \quad (5)$$

где  $C_T$  – часовая тарифная ставка или сумма тарифных ставок, обслуживание станка осуществляется одним рабочим 4-го разряда;  $K_n$  – коэффициент, учитывающий доплаты к тарифному фонду зарплаты,  $K_n = 1,4$ – $1,5$ ;  $K_d$  – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату,  $K_d = 1,12$ ;  $K_n$  – коэффициент, учитывающий отчисления в бюджет и внебюджетные фонды. Для деревообрабатывающей промышленности  $K_n = 1,35$ ;  $T_n$  – номинальный фонд времени работы рабочего в году,  $T_n = 2038$  ч.

Таким образом, заработная плата для производственных рабочих за час составит

$$C_3 = 298 \cdot 1,4 \cdot 1,12 \cdot 1,34 \cdot 2038 \cdot 0,93 \cdot 0,95 = 1\,127\,399,5 \text{ тыс. руб.}$$

**4. Расчет затрат на содержание и эксплуатацию оборудования.** Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования состоят из амортизационных отчислений, стоимости энергии на технологические цели, стоимости текущего ремонта, стоимости потребного инструмента, расходов по техническому уходу за оборудованием.

Сумма амортизационных отчислений  $A$ , руб.,

$$A = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (6)$$

где  $K$  – капитальные вложения, руб.;  $H_a$  – норма амортизационных отчислений.

Капитальные вложения обоснованы закупкой дереворежущего шлифовального инструмента (широкополосной шлифовальной ленты), закупкой материалов (древесины), а также оснащением материально-технической базы (смазка оборудования, покупка шприца для смазки специальным маслом).

**5. Расчет затрат на сырье.** Расчет затрат на сырье производится в соответствии с действующими нормами расхода на единицу продукции и рассчитываются по формуле (7):

$$C_c = C_c \cdot P_r \cdot H_c, \quad (7)$$

$C_c$  – средняя цена 1 м п. шлифуемого материала для обработки на станке;  $P_r$  – производительность оборудования;  $P_6 = 16\,507,8$  м п./год;  $H_c$  – норма расхода сырья до внедрения,  $H_{c.d} = 2,456$ ;  $P_{пр} = 20\,909,8$  м п./год. Норма расхода сырья после внедрения,  $H_{c.v} = 2,450$ .

$$C_c^d = 20 \cdot 16\,507,8 \cdot 2,456 = 810\,863,1 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_c^v = 20 \cdot 20\,909,8 \cdot 2,450 = 1\,024\,580,2 \text{ тыс. руб.}$$

**6. Расчет текущих затрат на выпуск продукции.** Сумма текущих затрат на годовую выпуск до и после внедрения определяется по формуле (8):

$$C_{тек} = C_{и} + C_{эл.эн} + A + C_p + C_{пл} + C_y + C_3; \quad (8)$$

– до внедрения:

$$C_{тек}^d = C_{и} + C_{эл.эн} + A + C_p + C_{пл} + C_y + C_3,$$

$$C_{тек}^d = C_{\Sigma 1} = 10\,080,0 + 79\,182,63 + 19\,228,650 + 1\,427,500 + 937,500 + 3\,191,000 + 1\,127,399 = 115\,174,679 \text{ руб.},$$

где  $C_{эл.эн}$  – затраты на электрическую энергию, руб.;  $C_y$  – затраты по техническому уходу за оборудованием, руб.;  $A$  – сумма амортизационных отчислений, руб.;  $C_p$  – величина затрат на текущий ремонт, руб.;  $C_{и}$  – затраты на режущий инструмент, руб.;  $C_{пл}$  – затраты на содержание производственной площади, руб.;  $C_3$  – затраты на заработную плату, руб.;

– после внедрения:

$$C_{тек}^v = C_{и} + C_{эл.эн} + A + C_p + C_{пл} + C_y,$$

$$C_{тек}^v = C_{\Sigma 2} = 5\,880,000 + 64\,704,200 + 17\,758,500 + 1\,427,350 + 937,500 + 3\,191,000 + 1\,127,399 = 95\,026,099 \text{ руб.}$$

**7. Расчет экономического эффекта от внедрения рациональных режимов на широколенточном шлифовальном оборудовании.** Результатирующими показателями экономического эффекта от применения ресурсосберегающих режимов является: прирост (увеличение) прибыли, увеличение выпуска продукции, повышение ее качества и снижение себестоимости.

Экономия затрат при шлифовании  $\mathcal{E}_{\text{ш}}$ , млн. руб., определяем по формуле (9):

$$\mathcal{E}_{\text{ш}} = \left( \frac{C_{\Sigma 1}}{P_{\text{ш1}}} - \frac{C_{\Sigma 2}}{P_{\text{ш2}}} \right) \times P_{\text{ш2}}, \quad (9)$$

где  $C_{\Sigma 1}$ ,  $C_{\Sigma 2}$  – сумма эксплуатационных затрат до внедрения рациональных режимов шлифования и после соответственно;

$$C_{\Sigma 1} = 115\,174,679 \text{ тыс. руб.};$$

$$C_{\Sigma 2} = 95\,026,099 \text{ тыс. руб.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ш}} = \left( \frac{C_{\Sigma 1}}{P_{\text{ш1}}} - \frac{C_{\Sigma 2}}{P_{\text{ш2}}} \right) \times P_{\text{ш2}} = \left( \frac{115\,174,679}{16\,507,8} - \frac{95\,026,099}{20\,909,8} \right) \times 20\,909,8 = 2\,432,4 \cdot 20\,909,8 = 50\,861,206 \text{ руб.}$$

Выполнение работы по расчетам подтверждает экономическую эффективность. Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{ш}}$  от использования результатов работы составляет 50 861,206 руб.

Расчет экономического эффекта выполнен в ценах 2016 г. (июнь, до деноминации).

**Заключение.** 1. Практическое использование результатов исследования позволило: увеличить период стойкости шлифовальной шкурки на 12%; улучшить качество получаемой поверхности древесины; снизить затраты на закупку дереворежущего инструмента (шлифовальной шкурки) на 20%; снизить энергетические затраты на процесс шлифования (потребляемая мощность на шлифование уменьшилась на 8%); увеличить производительность шлифовального оборудования на 12%.

2. Применение данных режимов шлифования позволило увеличить количество обрабатываемого материала до 1000–1300 м п. без появления прижогов на обрабатываемой поверхности.

3. Годовой экономический эффект от использования результатов исследования составил 50 861,206 бел. руб. в ценах на 15.06.2016 г. (после деноминации 5086,12 бел. руб.).

4. Результаты исследования при шлифовании древесины подтверждены следующими актами:

- акт о практическом использовании результатов исследования;
- акт опытно-производственной проверки (в области технологии и оборудования деревообработки);
- справка о возможном практическом использовании результатов исследования.

### Литература

1. Инструкция по оценке эффективности использования результатов исследований и разработок в промышленности: постановление Гос. комитета по науке и технологиям Респ. Беларусь и НАН Беларуси, 22.12.2004 г. № 8/3. Минск, 2004. 23 с.

2. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 263 с.

### References

1. *Instruktsiya po otsenke effektivnosti ispol'zovaniya rezul'tata issledovaniy i razrabotok v promyshlennosti* [Guidelines for evaluating of efficiency of use of results of research and development in industry], 2004. No. 8/3. 23 p. (In Russian)

2. Bershadskiy A. L., Tsvetkova N. I. *Rezaniye drevesiny* [Cutting of wood]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1975. 263 p.

### Информация об авторах

**Морозова Ольга Игоревна** – инженер кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: olga\_kostiuk13@mail.ru

**Гришкевич Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

### Information about the authors

**Marozava Volga Igorevna** – engineer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olga\_kostiuk13@mail.ru

**Grishkevich Aleksander Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Поступила 23.02.2018

УДК 674.053:621.934

**В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич, С. В. Киселев**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОПИЛА ЗУБЬЯМИ ДИСКОВЫХ  
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПИЛ С РАЗЛИЧНЫМИ ПРОФИЛЯМИ**

Ламинированные древесностружечные плиты сегодня широко используются во многих отраслях народного хозяйства и прежде всего в мебельной промышленности. Основным видом механической обработки данного конструкционного материала является раскрой дисковыми пилами с зубьями из твердого сплава на заготовки заданных размеров. Обеспечение качественного раскроя является актуальной задачей, для решения которой предлагаются новые профили зубьев пил, применяются современные инструментальные материалы, оптимизируются режимы обработки. При этом внедрение каждого нового профиля требует проведения дополнительных исследований с целью разработки для производства рекомендаций по их эксплуатации.

Обзор инструмента, применяемого на современных мебельных предприятиях для распиловки ламинированных древесностружечных плит, показал, что наиболее популярны дисковые пилы с комбинированными профилями зубьев: попеременно-косым, плоско-трапецевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью. Каждый из них имеет отличительные конструктивные и функциональные особенности, поэтому авторы провели анализ каждого профиля с целью выявления его достоинств и недостатков.

**Ключевые слова:** пила, твердый сплав, профиль, анализ, конструкция, качество, обработка, древесностружечная плита, угол заточки, лезвие, подача на зуб, сила.

**V. T. Lukash, S. A. Grinevich, S. V. Kiselev**

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF FORMING CUTTING TEETH OF CIRCULAR CARBIDE SAWS  
WITH DIFFERENT PROFILES**

Laminated chipboards are now widely used in many sectors of the national economy and, above all, in the furniture industry. The main type of machining of this structural material is cutting disk saws with teeth made of hard alloy on the workpiece size. Providing high-quality cutting of the workpiece is an actual problem, the solution of which are new profiles of teeth of saws, we use modern tool materials, optimized processing modes. At the same time, the introduction of each new profile requires additional research to develop recommendations for their operation.

The survey instrument used in modern furniture enterprises for cuts-Ki laminated chipboards, showed that the most popular disk PI-ly with the combined profiles of the teeth of alternately-slanted plane of the trapezoidal and flat-triangular with concave front surface. Each of them has distinctive design and functional features, so the authors analyzed each product in order to identify its advantages and disadvantages.

**Key words:** saw, hard alloy, profile, construction, analysis, quality, processing, chipboard, sharpening angle, blade, tooth feed, force.

**Введение.** На предприятиях отрасли для раскроя древесины и древесных материалов широко используют дисковые пилы с зубьями из твердого сплава различной формы (рис. 1). Профили и угловые параметры зубьев пил достаточно разнообразны.

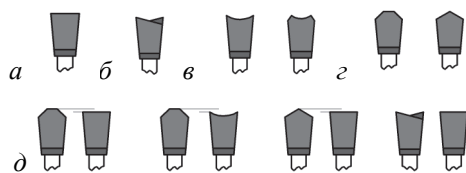


Рис. 1. Формы зубьев дисковых твердосплавных пил:

- а – с прямой задней поверхностью зуба;
- б – с разносторонним наклоном; в – криволинейные;
- г – трапецевидная и треугольная;
- д – комбинированные

Каждый профиль зубьев имеет свои особенности взаимодействия с обрабатываемым материалом, определяемые его формой, поэтому изучение геометрии зубчатого венца и его влияния на процесс пиления (в частности, стружкообразование, силообразование и качество обработанной поверхности) представляет большой теоретический и практический интерес, так как дает необходимые сведения для проектирования дискового режущего инструмента и рациональной технологии его заточки, разработки оптимальных режимов пиления и расчета форматных станков при их конструировании.

**Основная часть.** Для раскроя облицованных древесных плитных материалов наибольшее распространение получили дисковые пилы с попеременно-косым, плоско-трапецевидным и плос-

ко-треугольным с вогнутой передней поверхностью зуба профилями режущих элементов.

На рис. 2 представлен попеременно-косой профиль зубьев твердосплавной дисковой пилы.

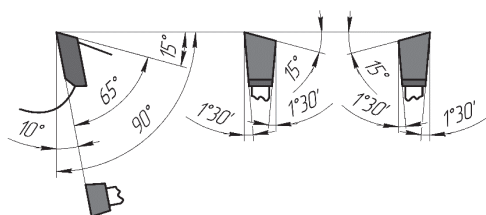


Рис. 2. Попеременно-косой профиль зубьев дисковых пил для раскря ДСП-Л

Рассмотрим порядок взаимодействия зубьев данного профиля с материалом (рис. 3).

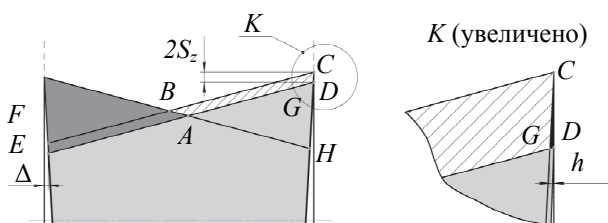


Рис. 3. Схема формирования пропила дисковой твердосплавной пилой с попеременно-косым профилем зубьев

При врезании зуба в материал работает не вся главная режущая кромка, а только ее часть. Величина работающей части (длина  $BC$ ) и, соответственно, объем удаляемого материала тем больше, чем больше подача на зуб  $S_z$ . По результатам измерений в программе Kompas 3D-V14 площадь пропила, формируемая одним зубом при подаче на зуб  $S_z = 0,06$  мм, составляет  $S_{BCGA} = 0,19$  мм<sup>2</sup>. Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом из рассматриваемой комбинации, составляет 50/50.

Кроме главной, резание осуществляется и боковыми режущими кромками. Причем резание как таковое происходит лишь на отрезке  $CG$ , а боковая стенка пропила, сформированная данным участком зуба, представляет собой ступенчатую поверхность с шагом  $2S_z$  и высотой ступенек  $h = 2S_z \sin \alpha_r$ . Даже при максимальных из диапазона рекомендуемых производителями режущего инструмента режимах пиления ламинированных древесностружечных плит ( $S_z = 0,06$  мм) эта величина составляет не более 7 мкм.

В виду того, что только каждый второй зуб рассматриваемого профиля формирует боковые стенки пропила, силы сопротивления резанию, расположенные со смещением относительно оси полотна, и составляющие сил резания по

главной и боковой смежным режущим кромкам являются одним из источников поперечных колебаний пилы и приводят к ее дополнительной вибрации в пропиле, что негативно отражается на качестве обработки.

Боковые режущие кромки зубьев при вершинах  $F$ ,  $E$ ,  $H$  осуществляют лишь скольжение по стенке пропила ( $\Delta = 0,022$  мм), сформированной предыдущими зубьями противоположного профиля (упругое восстановление волокон древесины, деформированных задней поверхностью лезвия, при торцовом резании составляет 0,05–0,12 мм, поперечном – 0,030–0,005 мм [1]). Нормальная реакция взаимодействующей поверхности обработки частично компенсирует боковую нагрузку (совместно с боковой составляющей сил резания по главной режущей кромке) от сил резания по боковой грани на отрезке  $CD$ . Это способствует повышению устойчивости зуба и всего инструмента в пропиле, особенно по мере затупления режущего инструмента.

Благодаря наклону задней поверхности зуб пилы во время обработки будет входить в материал более плавно. Первым в материал будет внедряться острый трехгранный угол при вершине  $C$ , обеспечивая локализацию напряжений резания и деформаций в материале. Последнее особенно важно, так как в процессе отверждения связующего плита и облицовочный слой становятся хрупкими.

Во время пиления участки зуба, взаимодействующие с обрабатываемым материалом, будут изнашиваться. Наибольшая нагрузка при внедрении зуба в плиту будет ложиться на острый трехгранный угол, из-за чего режущие кромки, формирующие его, будут быстро терять режущую способность. Напряжения от внедрения вершины зуба будут расти по большей площади и, соответственно, вызывать деформацию и разрушение облицовочного материала.

Таким образом, на основании теоретического анализа взаимодействия попеременно-косого профиля зубьев дисковой твердосплавной пилы с ламинированной древесностружечной плитой можно сделать вывод, что данный профиль может обеспечивать высокое качество обработки и малую энергоемкость процесса пиления относительно непродолжительное время. Стойкость данного инструмента будет невысокой, так как при обработке древесностружечной плиты, обладающей высокой абразивной способностью, вершина трехгранного угла, выполняющая функцию подрезки поверхностного слоя материала, будет быстро изнашиваться, что приведет к появлению дефектов обработки – сколов облицовочного материала недопустимых размеров. К преимуществам пил с попеременно-косым профилем зубьев следует отне-

сти простоту изготовления и заточки, невысокое потребление мощности на резание.

Плоско-трапецевидный профиль представляет собой комбинацию зубьев дисковой твердосплавной пилы с плоской и трапецевидной формой (рис. 4).

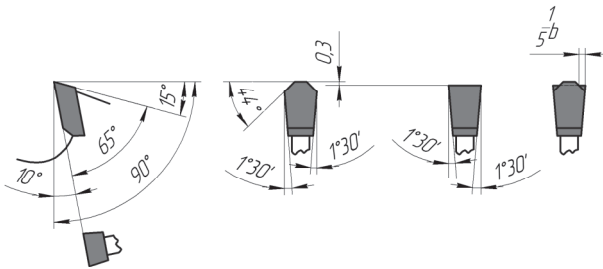


Рис. 4. Плоско-трапецевидный профиль зубьев дисковых пил для раскроя ДСП-Л

Схема взаимодействия зубьев рассматриваемого профиля с обрабатываемым материалом приведена на рис. 5.

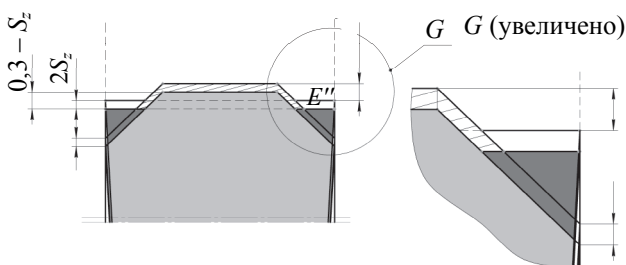


Рис. 5. Схема формирования пропила дисковой твердосплавной пилой с плоско-трапецевидным профилем зубьев

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. Рассмотрим последовательность входа зубьев. В некоторый момент времени после прохода зубьев трапецевидной и плоской формы будет сформирован рез  $A'B'C'D'E'F'$ . При проходе следующего зуба трапецевидной формы снимается площадь  $B'B''CDE''E'D'C'$ , выбирая паз и срезая значительную часть материала (ширина паза  $B''E'' = CD + 2 \cdot (0,3 + S_z) \cdot \operatorname{tg} 44^\circ$ ).

Исходя из конструктивного исполнения плоско-трапецевидного профиля (рис. 4) определим величину  $CD$ , мм:

$$\begin{aligned} CD &= \frac{3}{5}b - 2 \cdot 0,3 \cdot \operatorname{ctg} 44^\circ = \\ &= \frac{3}{5} \cdot 3,2 - 2 \cdot 0,3 \cdot \operatorname{ctg} 44^\circ = 1,30. \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда при подаче на зуб  $S_z = 0,06$  мм ширины паза  $B''E''$  составит, мм,

$$B''E'' = 1,30 + 2 \cdot (0,3 + 0,06) \cdot \operatorname{tg} 44^\circ = 2,00. \quad (2)$$

Боковые поверхности зубьев трапецевидной формы подчищают стенки пропила, обеспечивая функцию центрирования зуба и инструмента в целом.

Следующий за ним зуб с плоским профилем срезают площади  $A'ABB''$  и  $F'FEE''$ . Ширина обработки, мм,

$$AB = EF = \frac{b - CD}{2} - (0,3 - S_z) \cdot \operatorname{tg} 44^\circ; \quad (3)$$

$$AB = EF = \frac{3,2 - 1,30}{2} - (0,3 - 0,06) \cdot \operatorname{tg} 44^\circ = 0,72. \quad (4)$$

По результатам измерений в программе Kompas 3D-V14  $S_{B'B''CDE''E'D'C'} = 0,23 \text{ мм}^2$ ,  $S_{A'ABB''} = S_{F'FEE''} = 0,075 \text{ мм}^2$ . Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре «плоский / трапецевидный», составляет 40 / 60.

Таким образом, зубья с плоским профилем не несут существенной нагрузки и служат для окончательного формирования стенок пропила, они определяют качество обработки. Участки профиля  $AB$  и  $EF$  врезаются в материал одновременно по всей ширине. Благодаря незначительному объему удаляемого материала и наличию свободного пространства для деформирования и отвода продуктов разрушения материала на боковые стенки пропила будет оказываться меньшее давление. С точки зрения энергопотребления данный профиль будет более энергоэффективным по сравнению с предыдущим, так как его грани врезаются в материал одновременно. В то же время за счет отсутствия острых углов данный профиль будет изнашиваться медленнее, что обеспечит более высокую стойкость инструмента.

На основании теоретического анализа взаимодействия дисковых пил с плоско-трапецевидным профилем зубьев с обрабатываемым материалом можно сделать следующее заключение. Данный профиль будет обеспечивать высокое качество пропила за счет того, что зубья с плоским профилем, его формирующие, не несут больших нагрузок и снимают незначительный слой материала, в то время как основная нагрузка ложится на зубья с трапецевидным профилем. Пилы с плоско-трапецевидным профилем зубьев будут более энергоэффективными, однако их стойкость за счет отсутствия острых углов будет выше.

Плоско-треугольный профиль с вогнутой передней поверхностью зубьев представлен на рис. 6. Основное отличие рассматриваемого профиля от предыдущих – вогнутая поверхность передней грани зубьев, что вносит некоторые особенности в процесс стружкообразования. Схема взаимодействия зубьев плоско-

треугольного профиля с обрабатываемым материалом приведена на рис. 7.

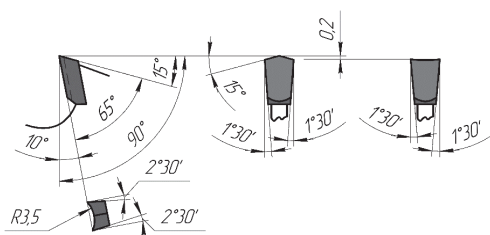


Рис. 6. Плоско-треугольный профиль зубьев дисковых пил с вогнутой передней поверхностью для раскря ДСП-Л

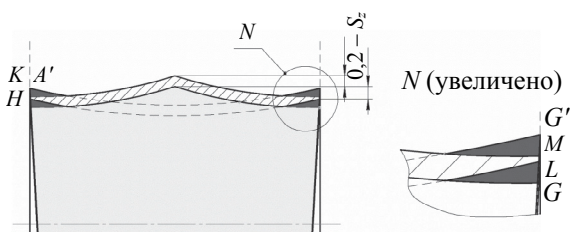


Рис. 7. Схема формирования пропила дисковой твердосплавной пилой с плоско-треугольным профилем зубьев

Принцип работы рассматриваемой комбинации зубьев аналогичен паре «плоский / трапезие-видный»: вершины зубьев треугольной формы, расположенные на 0,2 мм выше вершин зубьев с плоским профилем, врезаются в обрабатываемый материал практически по всей ширине пропила и удаляют основную часть припуска, плоские зубья при этом выполняют роль подрезателей. Расстояние между резами треугольного и плоского зубьев в плоскости подачи составляет  $(0,2 - S_z)$  мм. После прохода пары зубьев формируется рез  $HBCDEFL$ . При проходе очередного зуба с треугольным профилем снимается значительная часть материала, равная площади фигуры  $KD'MFDBH$ . Следующий за ним зуб с плоским профилем срезает значительно меньшую площадь  $A'B'K$  и  $F'G'M$  и не несет существенной нагрузки. По результатам измерений в программе Kompas 3D-V14  $S_{KD'MFDBH} = 0,34 \text{ мм}^2$ ,  $S_{A'B'K} = S_{F'G'M} = 0,02 \text{ мм}^2$ . Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре «плоский / трапециевидный», составляет 10 / 90. Однако зона пропила, удаляемая плоским зубом, при любых подачах из диапазона рекомендуемых ( $S_z = 0,02 - 0,06 \text{ мм}$ ) не перекрывает зону формирования пропила треугольным зубом. Поэтому за качество обработки отвечают оба зуба из пары в отличие от попеременно-косого профиля, где зубья формируют пропил поочередно, или плоско-трапециевидного, только плоские зубья которого выполняют чистовой рез.

Меньший угол резания боковых режущих кромок благодаря вогнутой передней поверхности зубьев плоско-треугольного профиля ( $\delta_1 \approx 67^\circ 30'$ ) позволяет уменьшить давление в месте внедрения их в обрабатываемый материал и деформацию отделяемых частиц древесины у стенок пропила. Продукты разрушения обрабатываемого материала в процессе резания перемещаются к центру зуба, не создавая в зоне резания повышенного трения и повторного перерезания частиц, и свободно удаляются за счет дополнительного объема в середине зуба.

Для зубьев с вогнутой передней поверхностью характерно также то, что надрезание облицовочного материала и частиц древесины у стенок пропила опережает их отделение главной стружкообразующей режущей кромкой. Сформированная при заточке передней и задней поверхности зубьев главная режущая кромка при пилении внедряется в материал с запаздыванием, не одновременно по всей длине, а постепенно от крайних точек к центру зуба под небольшим углом к волокнам, аналогично резанию лезвием, повернутому в плане. Более плавный вход боковых режущих кромок зубьев в обрабатываемый материал обеспечивает снижение сил, мощности и удельной работы резания [2, 3]. Отмеченные особенности конструкции позволяют улучшить результаты распиловки и значительно уменьшить вероятность появления и размеры сколов на выпиленных деталях.

**Заключение.** На основании проведенного теоретического анализа можно сделать следующие выводы: плоско-треугольный профиль зубьев с вогнутой передней поверхностью будет обеспечивать при пилении высокое качество обработки за счет того, что каждый зуб в рассматриваемой комбинации формирует боковые стенки пропила; стойкость дисковых пил с плоско-треугольным профилем зубьев будет больше чем с попеременно-косым, но меньше чем плоско-трапециевидного; плоско-треугольный профиль зубьев с вогнутой передней гранью будет более энергоемким, чем попеременно-косой, но менее энергоемким, чем плоско-трапециевидный. Первое утверждение объясняется большим количеством зубьев, формирующих стенки пропила, второе – меньшими углами резания боковых режущих кромок зубьев, третье – наиболее неравномерным распределением подачи на зуб в паре.

Стоит отметить, что при одной и той же подаче на зуб (в нашем случае расчеты производились для  $S_z = 0,06 \text{ мм}$ ) суммарная площадь пропила, формируемая парой зубьев, одинакова для всех трех рассматриваемых профилей –  $S = 0,38 \text{ мм}^2$ . Однако процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре, существенно различает-

ся, что влияет на продолжительность и энергоэффективность работы каждого из рассматриваемых профилей.

Анализ взаимодействия рассмотренных профилей зубьев дисковых пил с обрабатываемым материалом позволил предположить, что плоско-трапецевидный профиль будет обес-

печивать при пилении ламинированных древесностружечных плит наибольшую технологическую стойкость (стойкость по критерию качества обработки), а попеременно-косой профиль будет наименее энергоемким, что в последующем было подтверждено результатами экспериментальных исследований [4, 5].

### Литература

1. Бершадский А. Л. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
2. Ивановский Е. Г., Василевская П. В., Лаутнер Э. М. Фрезерование и пиление древесины и древесных материалов. М.: Лесная пром-сть, 1971. 96 с.
3. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Лесная пром-сть, 1986. 296 с.
4. Лукаш В. Т., Гриневич С. А. Сравнительный анализ влияния профиля зубьев твердосплавных дисковых пил на технологическую стойкость и мощность при раскрое ламинированных древесностружечных плит // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VI Междунар. евразийского симпозиума, Урал. гос. лесотехн. ун-т., Екатеринбург, 2011. С. 286–294.
5. Лукаш В. Т., Гриневич С. А. Технологическая стойкость дисковых пил с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью при раскрое ламинированных древесностружечных плит // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 167–170.

### References

1. Bershadskiy A. L. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1975. 303 p.
2. Ivanovskiy E. G., Vasilevskaya P. V., Lautner Je. M. *Frezerovaniye i pileniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Milling and sawing of wood and wood materials]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1971. 96 p.
3. Lyubchenko V. I. *Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting wood and wood materials: textbook for universities]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1986. 296 p.
4. Lukash V. T., Grinevich S. A. Comparative analysis of the influence of the profile of the teeth of carbide tipped circular saw blades for technological durability and power when cutting laminated chipboard. *Trudy VI Mezhdunarodnogo evraziyskogo simpoziuma ("Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka")* [Proceedings of the VI International Eurasian Symposium ("Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century")]. Ekaterinburg 2011, pp. 286–294 (In Russian).
5. Lukash V. T., Grinevich S. A. Technological stability of circular saws with a flat-triangular profile of teeth with a concave front face when cutting laminated chipboards. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 167–170 (In Russian).

### Информация об авторах

**Гриневич Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Grinevich@belstu.by

**Лукаш Валерий Тадеушевич** – кандидат технических наук, ассистент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Lukash@belstu.by

**Киселев Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Kiselev@belstu.by

### Information about the authors

**Grinevich Sergey Anatolyevich** – PhD, Associate professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Grinevich@belstu.by

**Lukash Valeriy Tadeushevich** – PhD, Assistant Lecturer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Lukash@belstu.by

**Kiselev Sergej Vladimirovich** – PhD, Senior Lecturer, the Department of Life Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Kiselev@belstu.by

Поступила 12.03.2018

УДК 674.914:674.338

**И. К. Клепацкий, В. В. Раповец**

Белорусский государственный технологический университет

**ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ НОЖЕЙ  
ДЛЯ АГРЕГАТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

В статье рассмотрена технология фрезерования малоножевыми торцово-коническими фрезами, ее специфика и проблематика.

Проведен анализ известных на данный момент технологий упрочнения поверхности дереворежущих ножей из легированной стали. Изучены изменения, происходящие в структуре металла. Учитывая технические возможности реализации проведения экспериментальных исследований в лабораториях республики, предложены несколько вариантов технологий по улучшению показателей стойкости дереворежущего инструмента, используемого на малоножевых фрезях фрезерно-брусующих станков отечественных деревообрабатывающих предприятий.

**Ключевые слова:** упрочнение, лезвие, нож, агрегатная обработка, стойкость, эксперимент, фрезерно-брусующий станок.

**I. K. Klepatski, V. V. Rapovets**

Belarusian State Technological University

**EFFECTIVE METHODS TO INCREASE THE PERIOD OF DURABILITY  
OF KNIVES FOR AGGREGATE PROCESSING OF WOOD**

The article deals with the technology of milling with small knife end-conical mills, its specialty and problems.

The analysis of currently known technologies for hardening the surface of wood-cutting knives from alloy steel is carried out. The changes occurring in the structure of the metal are studied. Taking into account the technical possibilities of carrying out experimental research in the laboratories of the republic, several variants of technologies for improving the indices of the durability of the woodcutting tool used on small knife milling cutters of milling and baling machines of domestic de-processing enterprises are proposed.

**Key words:** hardening, blade, knife, aggregate processing, durability, experiment, milling machine.

**Введение.** Постоянно возрастающие требования в области энергосбережения, реализации новых ресурсосберегающих технологий и материалов, высокоэнергетических технологий обработки материалов и методологии рационального природопользования представляют собой первостепенную задачу для лесной и деревообрабатывающей промышленности многих стран. Сюда включаются увеличение объемов выпускаемой пиломатериальной и технологической щепы, производства плитных материалов (ДСП, ДВП, МДФ и др.) [1].

Существенный вклад в решение обозначенных проблем вносят методы комплексной (агрегатной) обработки древесины, получившие широкое распространение не только в Республике Беларусь, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Эти методы предусматривают попутное получение пиломатериальной (двухкантный и четырехкантный брус, обрезные и необрезные доски) из центральной зоны бревна и технологической щепы из боковой горбыльной его зоны. При этом исключается необходимость в транспортировке кусковых отходов. Применение та-

ких методов позволяет увеличивать производительность труда, более полно использовать лесосырьевые ресурсы и в целом упростить технологический процесс. Такие методы обработки древесины наиболее технологичны и экономически оправданы. Из древесины (бревен) целесообразно получать мелкую пиломатериальную, а оставшуюся часть перерабатывать на технологическую щепу. Если на самых лучших рубильных машинах из реек получают до 90% технологической щепы, пригодной для варки целлюлозы, то щепа от агрегатных установок пригодна для этих целей почти полностью [2].

В Беларуси и других странах к настоящему времени проведен ряд научных исследований по вопросам улучшения работы агрегатного оборудования. Однако все возрастающие требования к качеству продукции из древесины, рациональное и экономное использование сырья требуют новых разработок, направленных на совершенствование агрегатного оборудования, улучшение показателей его работы, а также создание новых образцов агрегатов, позволяющих более эффективно перерабатывать древесное сырье.

**Основная часть.** На существующих лесопильных предприятиях, занятых массовой переработкой древесины, применяют две технологические схемы раскря: развальную и брусоразвальную [3]. Более широкое применение нашло распространение развальной технологической схемы (рис. 1).

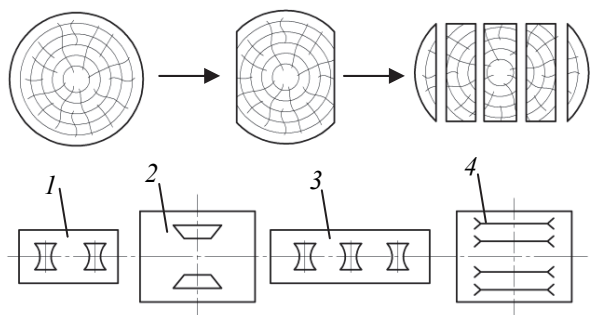


Рис. 1. Технологическая схема раскря сырья на пилопродукцию в развал:  
1, 3 – конвейеры; 2 – фрезерно-брусующий станок; 4 – многопильный станок

Длина щепы при фрезеровании определяется величиной подачи. Частицы древесины скалываются вдоль волокна передней гранью ножа (рис. 2, а). Толщина щепы непостоянна при обработке малоножевыми фрезами. Она зависит от состояния сырья, физико-механических свойств древесины и других факторов. При таком виде фрезерования поверхность бруса обрабатывается не резанием, а скалыванием частиц. Отделяемые от бруса вдоль волокон частицы создают на его поверхности характерные неровности. Поэтому в малоножевых торцово-конических фрезах для улучшения качества поверхности бруса дополнительно устанавливаются зачистные пильные диски (рис. 2, з), которые засоряют щепу опилками.

Другая конструкция малоножевой фрезы снабжена двухлезвийным Г-образным ножом (рис. 2, д). Один конец плоского ножа здесь отгибается на длину щепы и образует второе, короткое лезвие, которое должно быть строго параллельно пласти бруса. При таком фрезеровании бревен (рис. 2, б) длинное лезвие перерезает древесину поперек волокон и скалывает частицы, а короткое подрезает щепу вдоль волокон у пласти бруса. Благодаря этому улучшается не только качество поверхности бруса, но и щепы, которая не засоряется опилками.

На практике получили распространение многолезвьевые торцово-конические фрезы (рис. 2, е), которые позволяют получать щепу не только с заданной длиной, но и толщиной. Такие фрезы имеют Г-образные ножи, однако образование элементов щепы здесь происходит иначе (рис. 2, в). Ножи, расположенные с превышением на тол-

щину щепы, последовательно входят в древесину один за другим. Длинное лезвие движется параллельно пласти бруса и отрезает тонкий слой древесины, равный заданной толщине щепы. Короткое лезвие перерезает древесину поперек волокна и скалывает частицы заданной длины. Процесс измельчения древесины в щепу таким резцом представляет собой комбинацию лущения и торцово-поперечного резания. Высокая скорость фрезерования в сочетании с малой толщиной срезаемого слоя древесины улучшает чистоту обработки поверхности бруса. Однако качество щепы снижается.

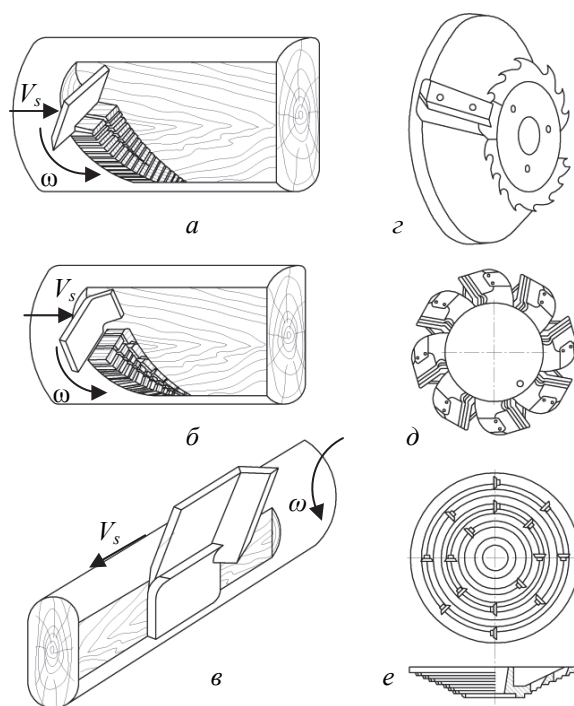


Рис. 2. Схема образования элементов щепы при торцово-коническом фрезеровании:  
а, в – обработка малоножевыми фрезами;  
б, д – обработка малоножевыми фрезами с Г-образным резцом;  
в, е – обработка многоножевыми фрезами

Традиционно режущий инструмент фрезерно-брусующих станков изготавливают из различных инструментальных сталей, например углеродистой стали У8А, инструментальных легированных сталей 6ХС и 9ХС повышенной прокаливаемости, применяются высоколегированные стали марок 4Х5МФ, 55Х6В3СМ и 55Х7ВСМФ. Для фрезерно-брусующих станков также рекомендуются легированные инструментальные стали марок 6Х6В3МФС и 5Х3В3МФС. Инструмент подвергают термической обработке с обеспечением твердости в единицах по HRC 57-61 [4].

Малоножевая торцово-коническая фреза представляет собой стальной корпус в форме

усеченного конуса с установленными на нем пильными секторами для предотвращения появления опережающих трещин, как следствие — улучшение качества щепы и поверхности обработки, ножа (рис. 3) из легированной стали (рис. 4).

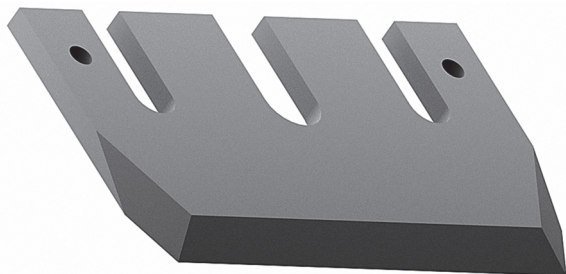


Рис. 3. Нож малоножевой торцово-конической фрезы

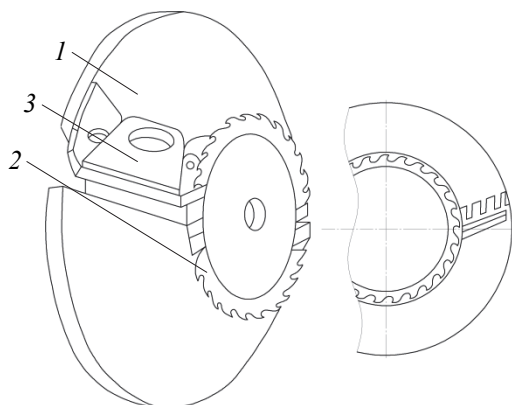


Рис. 4. Малоножевая торцово-коническая фреза

Малоножевые торцово-конические фрезы вырабатывают щепу наиболее высокого качества, которая по своим параметрам близка к щепе от рубительных машин. Объемная масса щепы составляет 155–156 кг/м<sup>3</sup>, а от рубительных машин 158,6 [5].

Изнашивание дереворежущего инструмента является сложным процессом и в качестве одной из особенностей выделяют вовлечение в износ тонких поверхностных слоев и развитие его в локальных зонах, расположенных у режущей кромки инструмента. Данная характеристика процесса предопределяет необходимость упрочнения режущего инструмента в зонах с активным износом, так как за их границами свойства материала не играют роли в затуплении инструмента. С точки зрения экономии материальных, трудовых и энергетических ресурсов упрочняющей обработке по улучшению свойств материала следует подвергать только локальную поверхность инструмента, непосредственно участвующую в резании [6]. Тем не менее при заточке ножей необходимо удалять металл по всей длине лезвия, что нерационально (рис. 5).



Рис. 5. Фото комплекта ножей фрезы левого исполнения фрезерно-брусующего станка после 48 ч работы

Процесс затупления складывается из составляющих механического, теплового, химического и электрохимического характера. Затупление происходит наиболее интенсивно, если преобладают процессы механического или теплового характера. При выборе способа упрочнения поверхности резца необходимо учитывать все эти условия.

Существует множество способов создания упрочненного слоя металла или из покрытий различного рода: нанесение вакуумных упрочняющих покрытий, упрочнение методом электроискрового легирования, нанесение износостойких покрытий методом катодно-ионной бомбардировки, химико-термическая обработка, газотермическое напыление, гальваностегия, магнито-импульсная обработка, ионно-плазменная обработка, комбинированный метод упрочнения с применением концентрированных потоков энергии, установка твердосплавного элемента, выравнивание алмазным индентером [7], плакирование [8], плазменно-детонационная обработка, установка твердосплавного элемента и т. д. Рассмотрим способы, которые осуществимы на базе оборудования, используемого в Республике Беларусь.

Преимуществом метода катодно-ионной бомбардировки (КИБ) [9] по сравнению с другими методами получения покрытий, в т. ч. и физическими способами осаждения покрытий из парогазовой фазы, является интенсивная ионная бомбардировка растущего покрытия, в результате которой происходит повышение температуры и интенсификация диффузионных процессов проникновения атомов покрытия в подложку, что значительно улучшает адгезию покрытия к твердым сплавам. Кроме того, сформированные методом КИБ нитриды тугоплавких металлов Ti, Cr, Zr и другие создают фрикционные плотные оксидные пленки, защищающие поверхность ножей инструмента от окисления и, соответственно, интенсивного износа. TiN-, ZrN-покрытия осаждались на по-

верхность двухлезвийных ножей хвостовых фрез методом КИБ на установке ВУ-1Б «Булат» (рис. 5) на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ в два этапа – с предварительной обработкой ионами металла в вакууме 10–3 Па при потенциале подложки 1 кВ с последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении – 100 В в атмосфере азота при давлении 1–10 Па.

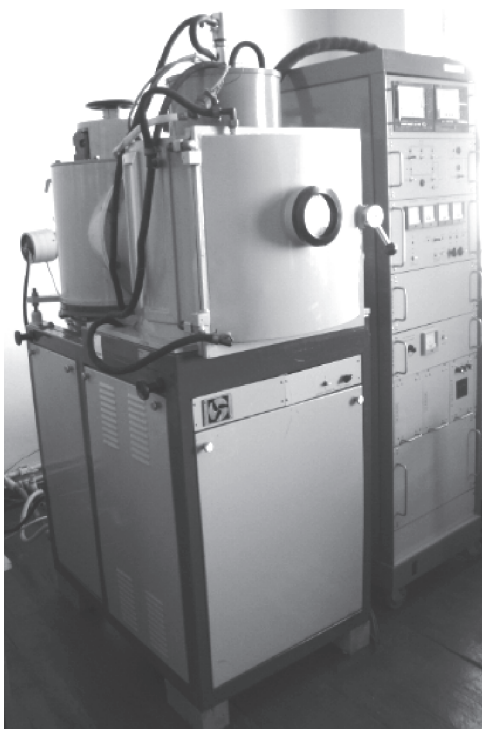


Рис. 5. Установка вакуумная ВУ-1Б

Для получения высокой адгезии покрытия к лезвию ножа варьировалось время ионной очистки и время непосредственного осаждения покрытия. Температура при осаждении покрытия соответствовала 400–450°C. Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм. Упрочненные ионно-плазменными TiN-, ZrN-покрытиями импортные двухлезвийные ножи из WC-Co твердого сплава, применяемые для резания ламинированных ДСтП станками и центрами с ЧПУ, имеют период стойкости в 1,3–1,4 раза больше по сравнению с необработанными ножами.

Комбинированная упрочняющая обработка дереворежущих ножей производилась путем ионно-плазменного напыления TiN толщиной 4 мкм (на вакуумной установке ВУ-1Б) и магнитно-импульсного воздействия с энергией импульса до 6 кДж на магнитно-импульсной установке (рис. 6) [10].

В период проведения опытно-промышленных испытаний применяли древесину с резко отличающейся влажностью (от 5 до 45%) и на-

личием абразивных элементов (песка), что отрицательно сказывалось на работоспособности дереворежущего инструмента по сравнению с обработкой чистой и более однородной по влажности древесины. Стойкость же опытных ножей, упрочненных комбинированным методом (нанесение покрытия TiN с последующей магнитно-импульсной обработкой), значительно превысила стойкость серийных ножей (в 5,9 раз), что говорит о высокой эффективности разработанного комбинированного метода упрочняющей обработки.



Рис. 6. Магнитно-импульсная установка

Применение твердого сплава в конструкциях ножей также является перспективным направлением в области увеличения технологической стойкости режущего инструмента. На правую сборную торцово-коническую фрезу был установлен составной двухлезвийный нож с пластиной металлокерамического твердого сплава BK15 вольфрамо-кобальтовой группы [11], а на левую – базовый нож из инструментальной легированной стали 4X5МФ для обеспечения идентичных условий работы.

Результаты проведенных производственных испытаний подтвердили эффективность практического применения твердого сплава вольфрамо-кобальтовой группы для двухлезвийных ножей со спиральным расположением на фрезах фрезерно-брусующих станков для агрегатной обработки древесины. Следовательно, возможно получение аналогичного положительного результата по увеличению периода стойкости двухлезвийных ножей для ФБС при ис-

пользовании безвольфрамовых твердых сплавов, например, титано-никелевых, карбонитридитановых, а также литых (стеллитов и сормайтов) или других износостойких композиционных материалов.

**Заключение.** Проведя анализ литературных источников, патентной документации и известных на данный момент технологий упрочнения

поверхности дереворежущих ножей из легированной стали, были выбраны направления дальнейшей работы по совершенствованию показателей стойкости лезвийного инструмента в области агрегатной обработки древесины, учитывая технические возможности реализации проведения экспериментальных исследований в лабораториях республики.

### Литература

1. Раповец В. В., Гриневич С. А., Бурносов Н. В. Конструкция и расчеты фрезерно-брусующих станков. Минск: БГТУ, 2015. 82 с.
2. Щепы технологическая. Технические условия: ГОСТ 15815-83. Введ. 01.01.85. М.: Гос. комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 1983. 12 с.
3. 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.
4. Кузьмич Н. С. Исследование процесса фрезерования древесины торцовыми фрезами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1968. 28 с.
5. Боровиков Е. М., Фефилов В. В., Шестаков Л. А. Лесопиление на агрегатном оборудовании. М.: Лесная пром-сть, 1985. 216 с.
6. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
7. Способ упрочнения рабочих поверхностей дискового ножа: пат. 2183681 РФ. МКП C21D9/24, B23D61/02, B23D19/04 / Ф. Ю. Серов; заявитель ООО «ТФК Тверское Представительство»; заявл. 03.11.00; опубл. 20.06.02 // Патентный поиск в РФ. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2183681> (дата обращения: 15.02.2018).
8. Способ нанесения упрочняющего покрытия на металлические или металлосодержащие поверхности: пат. 2105826 РФ. МКП C23C4/18, C23C26/00, C25D5/48 / Л. Н. Дмитриенко, М. А. Зеленская, Е. Д. Езотов; заявитель Л. Н. Дмитриенко; заявл. 19.05.95; опубл. 27.02.98 // Патентный поиск в РФ. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2105826> (дата обращения: 09.02.2018).
9. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Бавбель И. И. Особенности нанесения износостойких покрытий методом катодно-ионной бомбардировки на твердосплавные неперетачиваемые пластины // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 157–158.
10. Алифанов А. В. Повышение эксплуатационных свойств дереворежущих ножей комбинированным методом нанесения вакуумных упрочняющих покрытий и магнитно-импульсной обработки // Литье и металлургия. 2014. № 2. С. 95–100.
11. Раповец В. В. Повышение периода стойкости режущего инструмента фрезерно-брусующих станков при использовании твердого сплава в конструкциях двухлезвийных ножей // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 170–175.

### References

1. Rapovets V. V., Grinevich S. A., Burnosov N. V. *Konstruktsiya i raschety frezerno-brusuyushchikh stankov* [Construction and calculations of chipper cutter machines]. Minsk, BG TU Publ., 2015. 82 p.
2. GOST 15815-83. Wood chips. Technical conditions. Moscow, State Committee of the USSR on standards: Standart publishing house Publ., 1983. 12 p. (In Russian).
3. Rapovets V. V. *Kompleksnaya obrabotka drevesiny frezami so spiral'nyim raspolozheniyem sbornykh dvukhlezviynykh 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. Cand. Diss.]. Minsk, 2011. 206 p.
4. Kuz'mich N. S. *Issledovaniye protsessa frezerovaniya drevesiny tortsovyimi frezami. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Study of the process of milling wood end mills. Abstract of thesis cand. eng. sci.]. Minsk, 1968. 28 p.
5. Borovikov E. M., Fefilov L. A., Shestakov V. V. *Lesopileniye na agregatnom oborudovanii* [Sawmilling on aggregate equipment]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1985. 216 p.
6. Nikishov V. D. *Kompleksnoye ispol'zovaniye drevesiny* [Complex use of wood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1985. 264 p.
7. Serov F. Yu. *Sposob uprochneniya rabochikh poverkhnostey diskovogo nozha* [The method of hardening the working surfaces of the circular knife]. Patent RF, no. 2183681, 2002.

8. Dmitriyenko L. N. *Sposob nanoseniya uprochnyayushchego pokrytiya na metallicheskiye ili metallosoderzhashchiye poverkhnosti* [The method of applying a reinforcing coating on a metal or metal-containing surface]. Patent RF, no. 2105826, 1998.

9. Grishkevich A. A., Garanin V. N., Bavbel' I. I. Features of the application of wear-resistant coatings by the method of cathode-ion bombardment on carbide indexable plates. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2015, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 82–84 (In Russian).

10. Alifanov A. V. 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).

11. Rapovets V. V. Povysheniye perioda stoykosti rezhushchego instrumenta frezerno-brusuyushchikh stankov pri ispol'zovanii tverdogo splava v konstruktsiyakh dvukhlezyinykh nozhey. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2014, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 170–175 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Клепацкий Игорь Казимирович** – магистрант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lucky-35@mail.ru

**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** – Master's degree student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lucky-35@mail.ru

**Rapovez Vyacheslav Valer'yevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: slavyan\_r@mail.ru

Поступила 26.02.2018

УДК 630\*377.4

**Ю. А. Ким, В. А. Бобрович, Б. В. Войтеховский, В. С. Исаченков**  
Белорусский государственный технологический университет

### **К ВОПРОСУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ С ДЕФОРМИРУЕМЫМ ОСНОВАНИЕМ**

Рост энергонасыщенности сельхозмашин и машин специального назначения приводит к росту их массы и, следовательно, к увеличению сопротивления передвижению. Основные потери мощности связаны с передвижением транспортного средства.

В статье рассмотрен процесс взаимодействия жесткого колеса с упругим деформируемым основанием, а также основные причины, которые влияют на величину момента сопротивления качению колеса. В основном момент сопротивления колеса, а следовательно энергозатраты на передвижение, зависят от характера распределения удельного давления в пятне контакта колеса и деформируемого опорного основания. Именно от характера распределения удельного давления зависят направление и величина реактивной силы, прямо влияющей на момент сопротивления качению. В свою очередь характер распределения контактного напряжения зависит от формы поверхности контакта, которая может быть задана размерами и формой жесткого колеса.

В статье доказано, что моделирование поверхности контакта пневматического колеса с деформируемым основанием в ряде случаев достаточно точно отражает реальную картину взаимодействия и может быть применено в расчетах ходовых систем сельхозмашин и машин специального назначения.

**Ключевые слова:** шина колеса, пятно контакта, геометрические параметры, опорная поверхность.

**Yu. A. Kim, V. A. Bobrovich, B. V. Voytekhevskiy, V. S. Isachenkov**  
Belarusian State Technological University

### **TO THE QUESTION OF THE INTERACTION OF THE WHEEL PROPULSION WITH A DEFORMABLE BASE**

The increase in energy saturation of agricultural machines and special-purpose machines leads to an increase in their mass and, consequently, to an increase in resistance to movement. Major power loss associated with the movement of the vehicle.

The article describes the process of interaction of a hard wheel with an elastic deformable base, as well as the main reasons that affect the magnitude of the rolling resistance moment of the wheel. Basically the moment of wheel resistance, and therefore the energy consumption for movement, depends on the nature of the distribution of specific pressure in the contact patch of the wheel and the deformable support base. It is the nature of the distribution of the specific pressure that determines the direction and magnitude of the reactive force, which directly affects the rolling resistance moment. In turn, the nature of the distribution of contact voltage depends on the shape of the contact surface, which can be specified by the size and shape of the hard wheel.

The article proved that modeling the contact surface of a pneumatic wheel with a deformable base in some cases fairly accurately reflects the real picture of the interaction and can be used in the calculations of the running systems of agricultural machines and special-purpose machines.

**Key words:** tire wheel, contact spot, geometric parameters, bearing surface.

**Введение.** Процесс взаимодействия пневматического колеса с грунтовым основанием в первую очередь связан со взаимной деформацией движителя и основания. От этого зависят форма и размеры пятна контакта. В свою очередь от формы и размеров пятна контакта зависят характер и величины напряжений, обуславливающих сопротивление качению, энергообеспечивающие качества транспортного средства и другие важные эксплуатационные характеристики. В общем случае форма поверхности контакта представляет собой произвольную

кривую, имеющую области положительной и отрицательной кривизны. Однако теоретическое определение формы поверхности контакта представляет собой сложную задачу. Поэтому во многих случаях форма поверхности контакта задается предположительно. Такая модель снижает точность решения, но позволяет избежать трудностей вычислительного характера. В частности, существует модель, в которой пневматическое колесо заменено на жесткое колесо большего диаметра. В связи этим есть необходимость рассмотрения взаимодействия

жесткого колеса с деформируемым опорным основанием. При этом форма поверхности контакта определяется формой и размерами условного жесткого колеса.

**Основная часть.** В процессе взаимодействия пневматического колеса с деформируемым основанием одним из основных параметров является форма и размеры поверхности контакта взаимодействующих тел. Именно от формы и размеров поверхности контакта зависят такие показатели, как сопротивление качению, проходимость, развиваемая касательная сила тяги и др. [1–11].

В общем случае форма поверхности контакта имеет сложную конфигурацию и зависит от размеров и деформативных свойств движителя и опорной поверхности. Теоретическое определение поверхности контакта представляет собой достаточно сложную задачу. Поэтому во многих случаях форма поверхности контакта моделируется. Существует несколько вариантов моделирования, одним из которых является замена пневматического колеса на жесткое, но большего диаметра. В этом случае форма и размеры поверхности контакта будут заданы формой и размерами условного жесткого колеса. В связи с этим важно рассмотреть процесс взаимодействия жесткого колеса с деформируемым грунтовым основанием. При взаимодействии жесткого колеса с грунтовым основанием происходит деформация грунта, что приводит к увеличению площади пятна контакта. Колесо погружается до тех пор, пока не наступит равновесие между силами, действующими в контакте, и силами, приложенными к оси колеса. Размеры и форма жесткого колеса определяют форму поверхности контакта. При заданной глубине погружения можно определить закон распределения вертикальных перемещений частиц грунта  $U_z$  [12].

Эти перемещения являются функциями координат по ширине и длине пятна контакта:

$$U_z = f(x, y). \quad (1)$$

Начало координат выбрано на недеформированной опорной поверхности внутри пятна контакта (рис. 1). Функции  $F_1(y)$  и  $F_2(y)$  описывают его контур и находятся из (1) при  $U_z = 0$ .

Для крупногабаритных колес характерно преобладание вертикальных перемещений частиц грунта в направлении  $OZ$ . Обозначим перемещения частиц грунта  $U_i$ , которые для упругого полупространства должны удовлетворять уравнениям Ляме [13]:

$$\Delta U_i + (k+1) \frac{\partial \Theta}{\partial x_i} = 0 \quad (i=1, 2, 3); \quad (2)$$

$$k = \frac{\lambda}{\mu},$$

где  $\mu$  и  $\lambda$  – коэффициенты Ляме.

$$\lambda = \frac{E\sigma}{(1-\sigma)(1-2\sigma)};$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)},$$

где  $E$  – модуль деформации почвы;  $\sigma$  – коэффициент поперечной деформации;  $\Delta$  – оператор Лапласа;  $\Theta$  – объемная деформация, которая определяется по формуле

$$\Theta = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial U_i}{\partial x_i}.$$

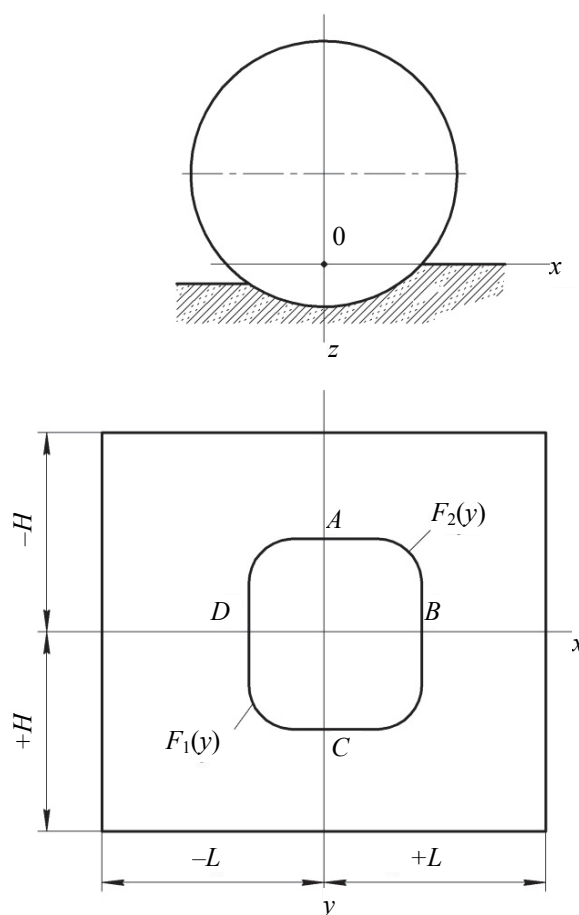


Рис. 1. Схема расположения системы координат для однородного полупространства

Общее решение уравнений (2) имеет следующий вид:

$$U_i = \varphi_i + z \frac{\partial \Psi}{\partial x_i}, \quad (3)$$

где  $\varphi_i$  – произвольные гармонические функции.

Функция  $\Psi$  определяется из уравнения

$$\frac{\partial \Psi}{\partial z} = -\frac{k+1}{k+3} \sum_{i=1}^3 \frac{\partial \varphi_i}{\partial x_i}.$$

В целом почвогрунт по физическим свойствам не является однородной средой. Модуль деформации  $E$  может считаться постоянной величиной только в приделах отдельных слоев. Представление грунтового основания в виде многослойной анизотропной среды с числом слоев больше двух делает математическую модель более точной, но приводит к значительным трудностям вычислительного характера, а также громоздким уравнениям для вычисления коэффициентов ряда. Пахотный горизонт реальной почвогрунтовой залежи представляет собой более рыхлый слой почвы толщиной 0,3–0,4 м, а подстилающий – плотное грунтовое основание. Каждый слой характеризуется тремя параметрами: толщиной  $h$ , модулем  $E$  и коэффициентом поперечной деформации  $\sigma$ . Для грунтового полупространства  $h \rightarrow \infty$ . Определим форму поверхности контакта с почвой при заданной наибольшей глубине погружения  $H_0$  жесткого колеса, имеющего форму и размеры рассматриваемого пневматического, при давлении воздуха в шине  $P_w$ , равным нулю.

Перемещение частиц почвы на расстояние  $y$  от средней плоскости вращения колеса определяется из выражения

$$f(x, y) = H(y) - R(y) + \sqrt{[R(y)]^2 - x^2}, \quad (4)$$

где  $R(y)$  – радиус сечения, расположенного на расстоянии  $y$  от средней плоскости вращения колеса;  $H(y)$  – наибольшая глубина погружения колеса в почву в том же сечении.

На рис. 2 изображена схема к определению функции деформации почвы под жестким колесом.

Искомые гармонические функции  $\varphi_i$  в уравнениях (3) должны удовлетворять краевым условиям при  $z = 0$ .

Суммарное давление по всей площади контакта равно общей вертикальной нагрузке на колесо  $G$ , которое определялось по формуле

$$G = \iint_{(F)} P_{zz0} dF, \quad (5)$$

где  $F$  – площадь пятна контакта шины с почвой;  $P_{zz0}$  – давление в контакте.

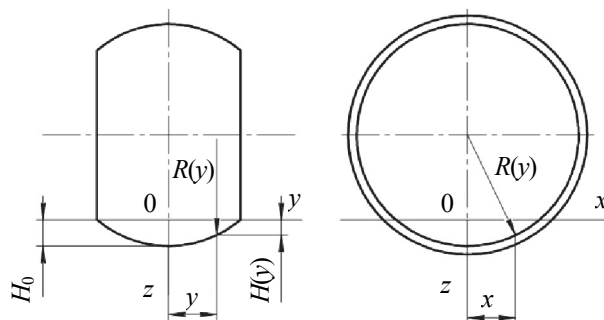


Рис. 2. Схема для определения функции деформации почвы под жестким колесом

Уравнение (5) является вторым краевым условием.

В общем случае, если известны перемещения частиц почвы под колесом в направлениях осей координат  $0x$  и  $0y$ , должны удовлетворяться условия на поверхности:

$$\varphi_1(x, y) = U_x(x, y); \quad (6)$$

$$\varphi_2(x, y) = U_y(x, y). \quad (7)$$

Для активного колеса ставится следующее краевое условие:

$$P_k = \iint_{(F)} f P_{zz0} dF, \quad (8)$$

где  $P_k$  – касательная сила тяги, Н;  $f$  – коэффициент сцепления;  $F$  – площадь пятна контакта,  $m^2$ .

**Закключение.** Процесс взаимодействия пневматического колеса с грунтовым основанием сопровождается взаимной деформацией взаимодействующих тел. В результате форма и размеры поверхности контакта зависят от механических свойств опорной поверхности, формы, размеров и деформативных свойств пневматического колеса. Поверхность контакта имеет сложную конфигурацию, состоящую из вогнутых и выпуклых участков, от которой зависит характер распределения контактных напряжений, а следовательно, сила сопротивления качению и другие важнейшие показатели. Проведенные теоретические исследования показали, что моделирование поверхности контакта пневматического колеса с деформируемым основанием в ряде случаев достаточно точно отражает реальную картину взаимодействия и может быть применено в расчетах ходовых систем сельхозмашин и машин специального назначения.

### Литература

1. Рабочев И. С. Уменьшение отрицательного воздействия мобильных агрегатов на почву // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 4. С. 90–94.
2. Пупонин А. И., Матюк Н. Ф., Русанов В. А. Деформация дерново-подзолистой почвы ходовыми системами тракторов и урожай // Земледелие. 1981. № 6. С. 22–24.

3. Камнев А. Л., Маслов В. А., Полонский М. А. Влияние ходовых аппаратов тракторов на плотность почвы и урожайность // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1978. № 2. С. 74–78.
4. Бондарев А. Г. Изменение физических свойств и плодородия почв Нечерноземья под воздействием ходовых систем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 5. С. 8–10.
5. Кононов А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларуси: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Горки: БСХА, 1974. 41 с.
6. Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: труды Почвенного института им. В. В. Докучаева. М., 1981. С. 56–61.
7. Ксенович И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.
8. Бочаров Н. Ф. Транспортные средства на эластичных движителях. М.: Машиностроение, 1974. 208 с.
9. Омелянов А. Е. О применении пневматических колес на сельхозмашинах // Сельхозмашина. 1948. № 5. С. 15–18.
10. Ульянов Н. А. Теория самоходных землеройно-транспортных машин. М.: Машиностроение, 1969. 520 с.
11. Алексейчик, Н. А., Будько Ю. В., Терехов Б. А. Повышение проходимости сельскохозяйственных машин. Минск: Урожай, 1979. 139 с.
12. Ким Ю. А., Опейко С. Ф. Теоретическое определение напряжений в области контакта жесткого колеса с деформируемым грунтом // Автотракторостроение. Вып. 17. Теория и конструирование мобильных машин. 1982. С. 68–70.
13. Филоненко – Бородич М. М. Теория упругости: учеб. для вузов; 4-е изд., доп. и перераб. М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1959. 364 с.

#### References

1. Rabochev I. S. Reduction of the negative impact of mobile aggregates on soil. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Agricultural Science], 1979, no. 4, pp. 90–94 (In Russian).
2. Puponin A. I., Matyuk N. F., Rusanov V. A. Deformation of sod-podzolic soil by tractors' tractors and harvesting. *Zemledeliye* [Agriculture], 1981, no. 6, pp. 22–24 (In Russian).
3. Kamnev A. L., Maslov V. A., Polonsky M. A. The influence of tractors' tractors on soil density and yields. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 1978, no. 2, pp. 74–78 (In Russian).
4. Bondarev A. G. Changes in physical properties and soil fertility of the Non-Black Earth Region under the influence of running systems. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 1983, no. 5, pp. 8–10 (In Russian).
5. Kononov A. M. *Issledovaniye realizatsii tyagovo-stsepykh kachestv i agrotekhnicheskoy prokhodimosti kolesnykh traktorov na suglinistykh pochvakh Belarus. Aftoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Investigation of the realization of traction-coupling qualities and agrotechnical patency of wheeled tractors on loamy soils in Belarus. Abstract of thesis doct. eng. sci.]. Gorki, 1974. 41 p.
6. Gaponenko V. S. On ways to reduce the sealing effect of machine-tractor aggregates on the soil. *Trudy Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchayeva («Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu»)* [Proceeding of the Soil Institute. V. V. Dokuchaeva («Influence of agricultural machinery on soil»)], 1981, pp. 56–61 (In Russian).
7. Ksenevich I. P., Skotnikov V. A., Lyasko M. I. *Khodovaya sistema – pochva – urozhay* [Running system – soil – harvest]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 304 p.
8. Bocharov N. F. *Transportnyye sredstva na elastichnykh dvizhitelyakh* [Vehicles on elastic propellers]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1974. 208 p.
9. Omel'yanov A. E. On the use of pneumatic wheels on agricultural machines. *Sel'khoz mashina* [Agricultural machinery], 1948, no. 5, pp. 15–18 (In Russian).
10. Ul'yanov N. A. *Teoriya samokhodnykh zemleroyno-transportnykh mashin* [Theory of self-propelled earth-moving machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1969. 520 p.
11. Alekseychik N. A., Budko Yu. V., Terekhov B. A. *Povysheniye prokhodimosti sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Raising the passability of agricultural machines]. Minsk, Urozhay Publ., 1979. 139 p.
12. Kim YU. A., Opeiko S. F. *Teoreticheskoye opredeleniye napryazheniy v oblasti kontakta zhestkogo kolesa s deformiruyemym gruntom* [Theoretical determination of stresses in the contact area of a hard wheel with a deformable soil]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1982, pp. 68–70.

13. Filonenko – Borodich M. M. *Teoriya uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow, Gos. izd-vo fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1959. 364 p.

#### Информация об авторах

**Ким Юрий Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: y.kim@belstu.by

**Бобрович Владимир Аркадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.bobrovich@belstu.by

**Войтеховский Борис Викторович** – ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: b.voytehovski@belstu.by

**Исаченков Владимир Сергеевич** – ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

#### Information about the authors

**Kim Yuriy Alekseevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: y.kim@belstu.by

**Bobrovich Vladimir Arkadievich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.bobrovich@belstu.by

**Voytekhovskiy Boris Viktorovich** – assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.voytehovski@belstu.by

**Isachenkov Vladimir Sergeevich** – assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Поступила 18.10.2018

УДК 674.023

S. E. Belsky<sup>1</sup>, A. V. Blakhin<sup>1</sup>, F. F. Tsaruk<sup>1</sup>,  
Adel Abdel Basset Rashid<sup>2</sup>, Mourtada Srour<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Beirut Arab University

<sup>3</sup>Lebanese University

## EQUIPMENT COMPLEX FOR ENSURING THE RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF MULTI-CYCLE FATIGUE USING HIGH LOADING FREQUENCIES

The article describes a complex of testing equipment that ensures implementation of fatigue tests of samples made of metal construction materials within the range of 0.3–44.0 kHz. The considered equipment complex allowed implementation of the following patterns of sample loading: tension-compression and alternating bending over a symmetric cycle.

The article also contains information about the structure of test facilities, matching plants and test samples, as well as the peculiarities of test performance at elevated temperatures. It has been demonstrated that this equipment complex allows realization of random loads characteristic of real conditions of operation of machine parts and elements of engineering structures.

**Key words:** oscillations, magnetostrictor, concentrator, sample, stresses, fatigue characteristics.

**Introduction.** The main way to develop methods for calculating fatigue strength is the use of applying various empirical dependencies obtained with the help of a large volume of experimental data. The main downside of this method is the complexity of fatigue tests. It is especially crucial for large test bases, when it comes to hundreds of thousands and millions of load cycles.

As the earlier studies have demonstrated, one very promising method for these goals is using high frequencies of oscillations that allow to ensure a great number of loading cycles over a short period of time and establish regularities of influence of the deformation frequency on cyclic damageability of the studied metals and alloys [1, 2]. Practical implementation of this method requires creation of a complex of testing equipment ensuring determination of fatigue characteristics in a wide range of load frequencies.

**Main part.** For the implementation of low-frequency (up to 300 Hz) and high frequency (2.8–44.0 kHz) loading, a complex of magnetostriction resonance facilities [3] was designed. The complex allowed to carry out tests of various construction materials (both metal and non-metal) at great test bases in a wide range of frequencies (0.3–18.0 kHz) and temperatures (300–1000°K).

For implementation of tests at high (2.8; 8.8; 18.0 and 44.0 kHz) frequencies, magnetostriction units operating in auto-oscillation mode were used. Block diagram of such units is shown in fig. 1.

Active element of a fatigue plant is a magnetostriction package designed as a closed loop composed of thin sheets of active material (nickel, permendur, etc.). Mechanical oscillations of the package occur under the effect of alternating magnetic field excited by a high frequency oscillator.

Effective operation of the magnetostriction converter is ensured by the optimal level of magnetization by constant magnetic field.

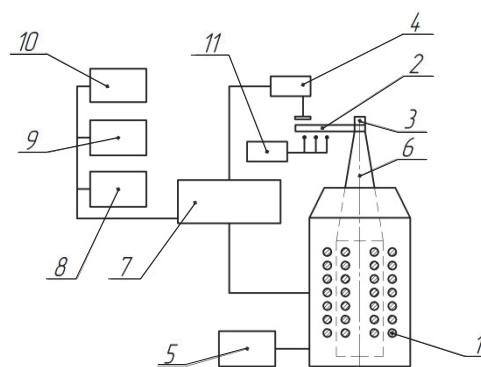


Fig. 1. Diagram of the test stand for excitation of bending oscillations:

- 1 – magnetostriction converter with excitation and magnetization coils; 2 – sample;
- 3 – fastening device; 4 – MRTI vibrometer;
- 5 – magnetization module; 6 – waveguide concentrator;
- 7 – amplitude stabilization device PSA (ASD);
- 8 – frequency counter; 9 – oscillograph; 10 – computer with printing device; 11 – temperature controller

In order to increase the oscillation amplitude, the package was connected to a variable cross-section rod (concentrator), which in its turn was connected to the sample. All dimensions of elements of this system were designed with the same individual frequency, which made it possible to obtain maximum value of cyclic loads.

One of the problems affecting correctness of fatigue test results is stabilization of the oscillation amplitude in the process of loading. This issue can be especially critical during the use of the resonance

mode, as changes in the oscillation amplitude can be caused both by alteration of the acoustic power supplied to the sample and non-correspondence of the frequency of mechanical resonance of the oscillating system that has an acute characteristic with the current frequency of the oscillator applied in the circuit with independent excitation. Due to this, plants [4–8] with auto-oscillatory operating mode are used, which make it possible to monitor the kinetics of sample damage based on changes in the resonance frequency [9, 10].

The test complex designed by us worked in auto-oscillatory mode and maintained the given parameters of oscillations of sample (fig. 1) with the help of the special amplitude stabilization device PSA, feedback coupling with which was implemented by means of the MRTI vibrometer.

Preliminary adjustment and calibration of the vibrometer were carried out with the help of MBS-2 optical microscope (not shown in fig. 1). Monitoring of the shape and amplitude was performed with the help of the electronic oscillograph connected to the circuit for the period of monitoring.

Since the quality factor of this auto-oscillatory system is determined solely by the quality factor of the sample, in course of fatigue tests there is a real possibility to study kinematics of accumulation of fatigue damages by monitoring changes in the system oscillation frequency with the help of the frequency meter operating jointly with the computer with printing device.

Water cooling of active and magnetizing coils of converters 1 was ensured in order to prevent them from overheating.

Test plant on the basis of electrodynamic vibratory stand of VE type, block diagram of which is shown in fig. 2, was designed for performance of fatigue tests at low frequencies (up to 300 Hz).

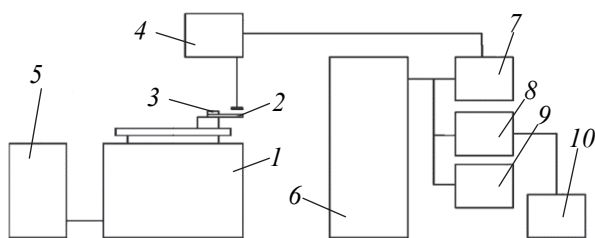


Fig. 2. Diagram of the low-frequency test stand:  
1 – VE vibrator; 2 – sample; 3 – fastening devices;  
4 – MRTI vibrometer; 5 – magnetizing module;  
6 – amplifier; 7 – amplitude stabilization device  
PSA (ASD); 8 – frequency counter; 9 – oscillograph;  
10 – computer with printing device

Alternate current is supplied to active coils of the table of VE1 vibrator was supplied from the amplifier (working frequencies: 10–5000 Hz).

In other aspects, operation of the low-frequency plant did not differ from operation of high-frequency testing complexes described below.

The above plants supplemented with the system of matching elements (fig. 3) were used for testing of samples under tension-compression.

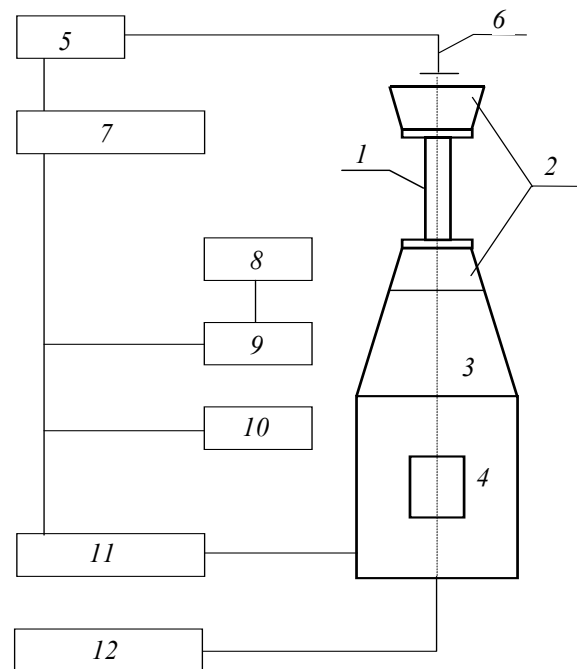


Fig. 3. Block diagram of high-frequency test stands for implementation of longitudinal oscillations:

- 1 – sample; 2 – matching element; 3 – concentrator;
- 4 – magnetostriction converter; 5 – MRTI vibrometer;
- 6 – oscillation amplitude control sensor;
- 7 – amplitude stabilization device ASD (PSA);
- 8 – computer with printing device;
- 9 – frequency counter; 10 – oscillograph;
- 11 – amplifier; 12 – magnetizing unit

PMS-15-A18 converters (4 kW) made of permendur were used for the plant with the resonance frequency of 18.0 kHz.

Since no magnetostrictors with working frequency below 18 kHz are industrially made, special magnetostriction packages made of nickel plates (NP 2, GOST 492-73,  $h = 0.2$  mm) were specially manufactured for frequencies of 2.8 and 8.8 kHz. Calculation of geometric parameters and resonance frequencies of the converters was carried out in accordance with [11]. Preparation for thermal treatment, thermal treatment and soldering of packages were performed according to the method [12].

Steel plates with threaded shanks were welded to the packages with silver solder Psr 45 for fastening of concentrators on the packages, which made it possible to fasten concentrators of various sizes with the necessary value of amplification ratios quickly and firmly.

Shape, material and dimensions of concentrators were determined on the type and dimensions of samples, oscillation frequency, as well as the necessary value of amplification ratios sufficient for reaching the necessary level of cyclic loads. Ampule-stepwise rod was used as an amplifier of mechanical oscillations (concentrator) for the frequency of 44 kHz, half-wave conical rods [13] – as amplifiers for frequencies of 2.8, 8.8 and 18.0 kHz. Concentrations for resonant frequencies of 8.8 and 18.0 kHz were made of #45 steel, 2.8 kHz – of D16 alloy, for 44 kHz – of VT6 alloy (fig. 4).

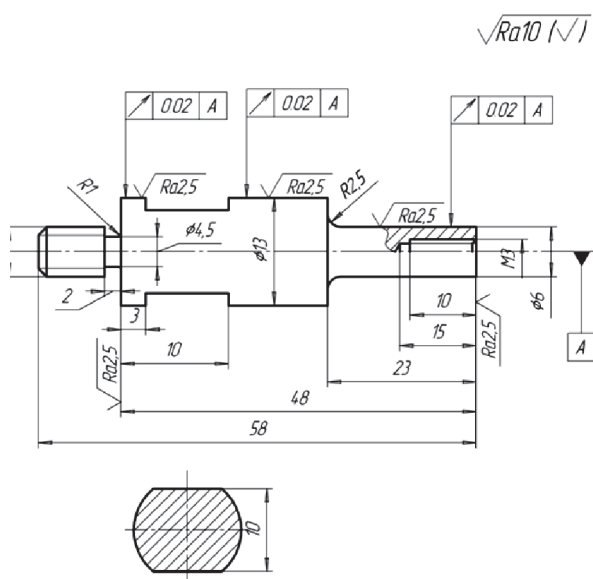


Fig. 4. Ampule-stepwise concentrator for the oscillation frequency of 44.0 kHz

General view of samples for test in the conditions of alternating bending is shown in fig. 5; samples for testing in the conditions of alternating tension-compression – in fig. 6.

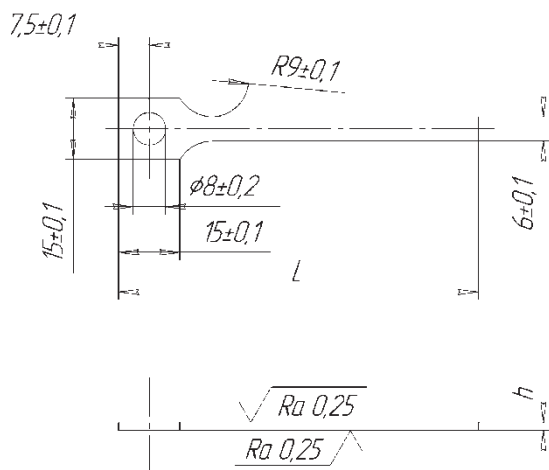


Fig. 5. Samples for loading with alternating bending

In order to reduce the scatter of experimental readings, special attention was paid to the quality and mechanical properties of material used to manufacture the test samples. In order to prevent the effect of scatter of the chemical composition of test results samples were cut out of alloy of the same batch (cast). Removal of a minimum thickness of the layer was provided at the final stage of mechanical treatment during production of test samples in order to prevent the effect of technological heredity; all samples were thermally treated as one batch.

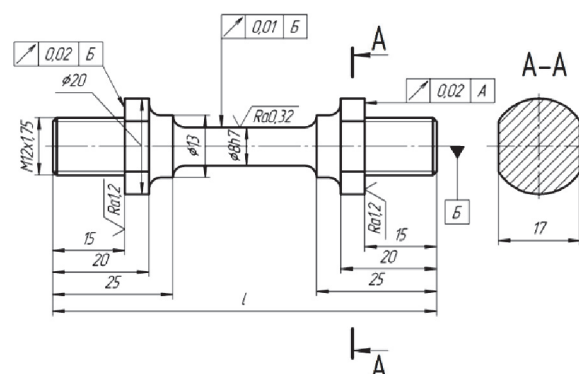


Fig. 6. Samples for loading with alternating tension-compression

Calculation of the loaded state of beam samples was carried out on the basis of the general equation of the technical theory of rods for an untwisted beam with linear axis and small flat cross-section that has the following form Расчет напряженного состояния балочных образцов производился на основании общего уравнения технической теории стержней для незакрученной балки с прямой осью и малым, остающимся плоским поперечным сечением, которое имеет вид (calculation model is shown in fig. 7):

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( EJ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) + \rho F \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = 0, \quad (1)$$

where  $J = J(x)$  – is the moment of the cross-section inertia with respect to the central section line;  $W = W(x, l)$  – is the deflection.

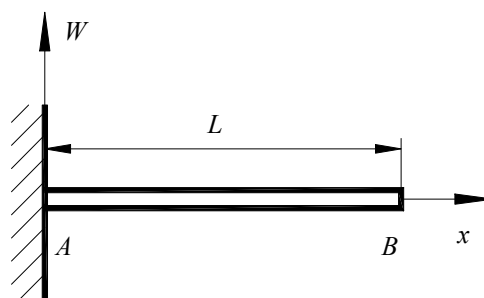


Fig. 7. Calculation model

In study of the beam oscillations without consideration of the shift and inertia, in case of anchorage at  $x = 0$  and  $x = 1$  boundary conditions will have the following form:

- anchorage  $W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial x} = 0$ ;
- free end

$$\begin{aligned} M &= EJ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = 0, \\ Q &= \frac{\partial M}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

If  $J = \text{const}$  and  $F = \text{const}$  the original equation is written as follows

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} - k^4 W = 0, \quad (3)$$

where

$$k = \frac{4\omega^2 \rho F}{EJ}. \quad (4)$$

For a hammer beam in these border conditions, the solution has the following form:

$$W(0) = \frac{\partial W}{\partial x}(0) = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}(l) = \frac{\partial^3 W}{\partial x^3}(l) = 0, \quad (5)$$

frequency equation

$$ch(kl)\cos(kl) + 1 = 0, \quad (6)$$

the roots of which are  $kl = 1.875$  (first oscillation mode),  $kl = 4.694$  (second oscillation mode).

Beam deflection function is described by the following dependency:

$$W = A \left( U(kx) + \frac{B}{A} V(kx) \right), \quad (7)$$

$$\text{Where } \frac{B}{A} = -\frac{U(kl)}{V(kl)} \quad \text{or} \quad \frac{B}{A} = -\frac{T(kl)}{U(kl)},$$

$$S(x) = 0.5(ch(kx) + \cos(kx)),$$

$$T(x) = 0.5(sh(kx) + \sin(kx)),$$

$$U(x) = 0.5(ch(kx) - \cos(kx)),$$

$$V(x) = 0.5(sh(kx) - \sin(kx)).$$

– Krylov's functions.

It is known that in case of excitation of constant cross-section hammer beam oscillations of any mode, absolute values of the loads in the anchorage always exceed the ones acting in the region of deflection antinodal. In practice, samples with increased area of cross-section in the anchorage re-

gion [14] are used to shift the point of fatigue destruction from the anchorage, which alter rigidity of the near-root section of the sample. Moreover, comparison of experimental and calculated frequencies of oscillating objects, such as turbine blades [15] revealed that the actual oscillation frequency of a blade anchored to the disk is always less than the frequency that was calculated theoretically based on condition of absolute rigidity of anchorage. Imperfection of anchorage is due to such factors as the friction force, quality of treatment of mating surfaces, elastic interaction of bodies, etc.

In order to account for the influence of anchorage compaction on stress-strain behavior of samples, calculation-experimental determination of the anchorage rigidity ratio was used, with the help of which the boundary conditions for the section adjacent to anchorage were adjusted.

In order to do this, it is necessary to determine experimentally the frequency of resonance oscillations of the beam, its thickness, coordinates of the characteristic points (free end of the sample and nodes of oscillation for higher forms) and calculate the value of the wave coefficient  $K$ . By measuring the deflection value (amplitude) at the edge of the sample ( $x = 0$ ) and thus finding one of the unknown variables, i. e.  $A = W(0)$ , we can find the last variable – the constant  $B$ , expressing it in the same way as  $A$  through the oscillation amplitude of the characteristic points of section  $x = b$  of the oscillating beam  $W(b)$ .

In this case

$$B = \frac{J}{T(kb)} (W(b) - W_0 S(kb)), \quad (8)$$

If  $b$  is the coordinate of the oscillation node, then  $W(b) = 0$  and

$$B = -W_0 \frac{S(kb)}{T(kb)}. \quad (9)$$

Based on the above dependencies, calculation of stress-strain behavior of beams samples was performed together with their inspection using strain gauging for frequencies of 0.3 and 2.8 kHz with the help of the MathCad application package. The difference in the stress values did not exceed normal stress gauging errors for normal measurement conditions.

Further development of the complex for fatigue tests at high loading frequencies consisted in ensuring the possibility to determine fatigue characteristics of metal samples under elevated temperatures (300–1000°K). For this purpose, the test complex was additionally fitted with a heating element with temperature controller (11, fig. 1), which allowed maintaining the sample temperature within 300–1000°K.

Development of the fatigue destruction of test samples was controlled on the basis of changes in microhardness, dislocation density and electrical resistance of samples [16].

**Conclusions.** This complex can be used to simulate tests within a wide range of frequencies and temperatures, implement various random loads characteristic of actual operating conditions, while

various feedbacks will make it possible to monitor various test parameters (sample temperature, frequency spectrum, oscillation amplitude, etc.) in real time, measure and analyze them.

It is practicable to use such equipment at enterprises and in organizations involved in engineering of machine parts and construction elements, as well as creation of new materials working under cyclic loading.

### References

1. Tsaruck F., Novitskiy A. Method of the accelerated prediction of fatigue properties of metals at normal and heightened temperatures by results of high-frequency tests. *Proceedings of III International Symposium on Tribo-Fatigue ISTF 2000*, Hunan University Press, China, pp. 193–195.
2. Dovgyallo I., Tsaruck F., Dolbin N. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20X13 steel. *The 4 Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes*. Bialostok, 1992, pp. 57–63.
3. Blohin A. V., Tsaruk F. F., Gayduk N. A. Complex of equipment for fatigue testing of process equipment elements. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series 1, Forest and Woodworking Industry, 2002, issue X, pp. 213–215 (In Russian).
4. Kuzmenko V. A. *Ustalostnyye ispytaniya na vysokikh chastotakh nagruzheniya* [Fatigue tests at high loading frequencies]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1979. 335 p.
5. Matokhnyuk L. E. *Uskorennyye ustalostnyye ispytaniya vysokochastotnym nagruzheniyem* [Accelerated fatigue tests by high-frequency loading]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988. 199 p.
6. Matokhnyuk L. E., Ordynskiy V. S., Yakovleva T. Yu., Botvina L. R. [Effect of loading frequency on crack growth rate in titanium alloy]. *Materialy Mezhdunar. simpoziuma ("Prochnost' materialov konstruktsiy pri zvukovykh i ul'trazvukovykh chastotakh nagruzheniya")* [Materials of the International Simpozium ("Strength of materials and structural elements at sound and ultrasonic loading frequencies")]. Kiev, 1987, pp. 53–57 (In Russian).
7. Dovgyallo I. G., Dolbin N. A., Bord V. I., Iponov A. M. Installation for the study of high-frequency fatigue of materials under symmetric and asymmetric loads. *Zavodskaya laboratoriya* [Factory laboratory], 1976. no. 9, pp. 1133–1135 (In Russian).
8. Kuzmenko V. A., Matokhnyuk L. E., Ordynskiy V. S. Automated high-frequency test facility for investigation of fatigue crack kinetics. *Problemy prochnosti* [Problems of strength], 1981, no. 6, pp. 124–126 (In Russian).
9. Bel'skiy S. E., Caruk F. F., Blokhin A. V. [Threshold voltage is an important characteristic of the fatigue resistance of structural materials] [Sb. trudov 1-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. ("Sovremennye metody proyektirovaniya mashin. Raschet, konstruirovaniye i tekhnologiya izgotovleniya")] [Collection of work of the 1<sup>st</sup> International scientific and technical conference ("Modern methods of designing machines. Calculation, design and manufacturing technology")]. Minsk, 2002, vol. 2, pp. 380–382.
10. Lavrovich N. I. Effect of fatigue crack size on the natural oscillation frequency of the test sample. *Omsk. politekhn. in-t* [Omsk Polytechnic Institute]. Omsk, 1988, 12 p. (In Russian).
11. Kikuchi E. *Ul'trazvukovyye preobrazovateli* [Ultrasound transducers]. Moscow, Mir Publ., 1972, 424 p.
12. Evstigneev M. I., Fedorov L. A. Features of manufacturing large-size magnetostrictive transducers for testing materials and parts for fatigue under high-frequency loading. *Ustalostnaya prochnost' materialov i elementov konstruktsiy pri zvukovykh i ul'trazvukovykh chastotakh nagruzheniya* [The fatigue strength of materials and structural elements at sonic and ultrasonic frequencies of loading]. Kiev, 1977, pp. 220–224 (In Russian).
13. Donskoy A. V., Keller O. K., Kratyish G. S. *Ul'trazvukovyye elektrotekhnologicheskiye ustanovki* [Ultrasonic electrotechnological installations]. Leningrad, Energoizdat Publ., 1982. 208 p.
14. Trapezon A. G. *Raschet uprugikh elementov pri rezonansnykh ustalostnykh ispytaniyakh* [Calculation of elastic elements in resonance fatigue tests]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1983. 96 p.
15. Borishanskiy K. N. The effect of the compliance seal on the natural frequencies of rotor blades of steam turbines. *Problemy prochnosti* [Problems of strength], 1980, no. 1, pp. 98–102 (In Russian).
16. Blokhin A. V., Bel'skiy S. E. Electrical resistance as a structural-sensitive characteristic in fatigue tests of metal structural materials. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], series 1, Forest and Woodworking Industry, 2006, issue XIV, pp. 248–250 (In Russian).

**Information about the authors**

**Belsky Sergey Epggrafovich** – PhD (Engineering), Professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dmiptu@belstu.by

**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 23.10.2018*

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ<br/>В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....</b>                                                                                                                      | <b>5</b>  |
| Червань А. Н., Романова М. Л., Андреева В. Л., Ефимова И. А. Применение геосистемного подхода к анализу структуры почвенного покрова в отношении задач сельского и лесного хозяйства.....                          | 5         |
| <b>ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО.....</b>                                                                                                                                                                          | <b>10</b> |
| Прищепов А. А., Лабоха К. В. Оценка точности методов выборочного учета естественного возобновления леса после проведения рубки главного пользования.....                                                           | 10        |
| Рожков Л. Н. Методические подходы к оценке содержания углерода (абсорбция / эмиссия) при различных способах рубки и возобновления леса, удаления / неудаления порубочных остатков.....                             | 17        |
| Рожков Л. Н., Бутьковец В. В. Влияние фитоценотической структуры на возобновление <i>Picea abies</i> под пологом приспевающих и спелых насаждений Беларуси.....                                                    | 24        |
| Углынец А. В., Кудин М. В., Гарбарук Д. К. Предварительное естественное возобновление леса в высоковозрастных дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.....                                                      | 31        |
| Шиман Д. В., Юшкевич М. В., Клыш А. С. Пути увеличения абсорбции парниковых газов лесами Беларуси.....                                                                                                             | 42        |
| <b>ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ.....</b>                                                                                                                                                                    | <b>48</b> |
| Гвоздев В. К., Волкович А. П. Структура и запасы надземной фитомассы в еловых культурфитоценозах разной густоты.....                                                                                               | 48        |
| Овсей А. А. Текущее состояние интродукции кедровых сосен на территории Республики Беларусь.....                                                                                                                    | 54        |
| Романчук А. В., Юрениа А. В. Применение комплексного минерального удобрения пролонгированного действия «Базакот 6М» в посевном отделении сосны обыкновенной лесных питомников.....                                 | 60        |
| Штукин С. С. О создании лесных углерододепонирующих плантаций.....                                                                                                                                                 | 67        |
| Якимов Н. И., Крук Н. К., Юрениа А. В. Оценка семенного материала лесосеменных плантаций ели европейской.....                                                                                                      | 72        |
| <b>ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО.....</b>                                                                                                                                                             | <b>77</b> |
| Жоров Д. Г., Буга С. В. Инвазивные виды гемиптероидных насекомых (Insecta: hemipteroidea) в комплексах фитофагов – вредителей декоративных лиственных и хвойных культур в условиях Беларуси.....                   | 77        |
| Усень В. В., Блинова Н. С. Оценка численности вершинного ( <i>Ips acuminatus</i> Gyll.) и шестизубчатого ( <i>Ips sexdentatus</i> Voerm.) короедов в сосновых насаждениях с применением феромонных препаратов..... | 84        |
| <b>ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ<br/>ВОПРОСЫ.....</b>                                                                                                                                     | <b>89</b> |
| Леонов Е. А., Клоков Д. В. Оптимизация запасов сырья в условиях круглогодичного спроса на щепу.....                                                                                                                | 89        |
| Леонов Е. А., Клоков Д. В. Производство топливной щепы на лесоэнергетических терминалах деревообрабатывающих предприятий.....                                                                                      | 95        |
| Германович А. О. Определение размерно-компоновочных и технико-эксплуатационных параметров мобильной рубильной машины «АМКОДОР 2904».....                                                                           | 100       |

|                                                                                                                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Бавбель Е. И., Науменко А. И.</b> Методика оптимизации дорожных конструкций лесных автомобильных дорог .....                                                                                                    | 107        |
| <b>Хорошун Н. В., Насковец М. Т.</b> Системы машин для содержания и текущего ремонта лесохозяйственных дорог .....                                                                                                 | 111        |
| <b>Кононович Д. А.</b> Результаты экспериментальных исследований машины для транспортировки лесосечных отходов .....                                                                                               | 118        |
| <b>Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П.</b> Результаты имитационного моделирования работы гидравлической системы форвардера в MatLab / Simulink / Simscape.....                                         | 126        |
| <b>ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....</b>                                                                                                                                                                   | <b>132</b> |
| <b>Барташевич А. А., Игнатович Л. В., Шетько С. В.</b> Стойкость защитно-декоративных покрытий к пятнообразованию .....                                                                                            | 132        |
| <b>Пинчевская Е. А., Цапко А. Ю.</b> Оптимизация состава органической составляющей огнезащитного покрытия древесины.....                                                                                           | 137        |
| <b>Невзорова А. Б., Макеев В. В., Врублевская В. И.</b> Контроль степени заполнения полос-тей древесины методом конфокальной микроскопии .....                                                                     | 145        |
| <b>Федосенко И. Г., Усович А. В.</b> Производственное планирование свойств древесных мате-риалов на основе минеральных вяжущих.....                                                                                | 152        |
| <b>Мазаник Н. В.</b> Опыт применения хитозана для защиты древесины от грибных поврежде-ний .....                                                                                                                   | 158        |
| <b>Полховский А. В., Прохорчик С. А., Шетько С. В.</b> Современные конструкции и материа-лы для лыж.....                                                                                                           | 163        |
| <b>Прохорчик С. А., Кисель А. Ю.</b> Особенности отделки маслами изделий из древесины ли-ственницы и термодревесины, эксплуатируемых на открытом воздухе .....                                                     | 169        |
| <b>ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА .....</b>                                                                                                                                                    | <b>176</b> |
| <b>Гришкевич А. А., Гриневиц С. А., Алифировец Г. В.</b> Результаты исследований периода стойкости упрочненных плоских ножей цилиндрических фрез профилирующих машин.....                                          | 176        |
| <b>Морозова О. И., Гришкевич А. А.</b> Результаты практического использования рациональ-ных режимов шлифования древесины березы в условиях производства.....                                                       | 181        |
| <b>Лукаш В. Т., Гриневиц С. А., Киселев С. В.</b> Особенности формирования пропила зубья-ми дисковых твердосплавных пил с различными профилями .....                                                               | 185        |
| <b>Клепацкий И. К., Раповец В. В.</b> Эффективные методы повышения периода стойкости но-жей для агрегатной переработки древесины .....                                                                             | 190        |
| <b>Ким Ю. А., Бобрович В. А., Войтеховский Б. В., Исаченков В. С.</b> К вопросу взаимодей-ствия колесного движителя с деформируемым основанием .....                                                               | 196        |
| <b>Belsky S. E., Blakhin A. V., Tsaruk F. F., Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srour.</b> Com-plex of equipment for support of research characteristics of high cycle fatigue using high-frequency loading ..... | 201        |

# CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS<br/>IN FORESTRY .....</b>                                                                                                                                                                | <b>5</b>  |
| Chervan' A. N., Romanova M. L., Andreeva V. L., Efimova I. A. Geosystem approach using<br>for analysis of the structure of the topsoil cover in agriculture and forestry .....                                                                          | 5         |
| <b>FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE .....</b>                                                                                                                                                                                                            | <b>10</b> |
| Prishchepov A. A., Labokha K. V. Estimation of the accuracy of selective accounting methods of<br>natural regeneration of forest after the principal felling .....                                                                                      | 10        |
| Rozhkov L. N. Methodological approaches to the evaluation of the content carbon (absorption /<br>emission) using different ways of felling and forest renewal, removal / not removal of debris .....                                                    | 17        |
| Rozhkov L. N., Butskavets U. V. The influence of phytocenotic structure on the renewal of<br><i>Picea abies</i> under the protection of the additive and spelling plants of Belarus .....                                                               | 24        |
| Uglyanets A. V., Kudin M. V., Garbaruk D. K. Preliminary natural forest regeneration in over-<br>grown oak forests of the Chernobyl NPP exclusion zone .....                                                                                            | 31        |
| Shiman D. V., Yushkevich M. V., Klysh A. S. Activities to increase carbon sequestration in the<br>forests of Belarus .....                                                                                                                              | 42        |
| <b>FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING.....</b>                                                                                                                                                                                                      | <b>48</b> |
| Gvozdev V. K., Volkovich A. P. Structure and reserves of above-ground phytomass in spruce<br>culture phytocenoses of different density .....                                                                                                            | 48        |
| Ovsey A. A. Current situation of introduction of cedar pine in the territory of the Republic of<br>Belarus .....                                                                                                                                        | 54        |
| Romanchuk A. V., Yurennya A. V. Application of complex mineral fertilizer prolonged action<br>“Bazakot 6M” in cropping separation of the pine of an ordinary forest kennels.....                                                                        | 60        |
| Shtukin S. S. On the creation of forest carbon depositing plantations .....                                                                                                                                                                             | 67        |
| Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurennya A. V. Assessment of seed material of forest seed planta-<br>tion of european spruce .....                                                                                                                           | 72        |
| <b>FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING .....</b>                                                                                                                                                                                                          | <b>77</b> |
| Zhorov D. G., Buga S. V. Invasive species hemipteroidea – pests deciduous and coniferous ornamen-<br>tal plants under the conditions of Belarus .....                                                                                                   | 77        |
| Usenya V. V., Blinova N. S. Assessment of the number of the sharp-dentated bark beetle ( <i>Ips<br/>acuminatus</i> Gyll.) and the pine tree beetle ( <i>Ips sexdentatus</i> Boern.) in pine plantations with the use of<br>pheromone preparations ..... | 84        |
| <b>TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS.....</b>                                                                                                                                                                            | <b>89</b> |
| Leonov E. A., Klovov D. V. Optimization of raw material reserves in the conditions of the year-<br>round demand for the wood chips .....                                                                                                                | 89        |
| Leonov E. A., Klovov D. V. Fuel chips production at the wood-energy terminals of wood pro-<br>cessing enterprises .....                                                                                                                                 | 95        |
| Hermanovich A. O. Determination of dimensional-component and technical-operational pa-<br>rameters of mobile chipper machines “AMKODOR 2904” .....                                                                                                      | 100       |
| Bavbel J. I., Naumenko A. I. Optimization method for road construction forest roads .....                                                                                                                                                               | 107       |
| Khoroshun N. V., Naskovets M. T. The systems of machines for the maintenance and mainte-<br>nance of forest roads .....                                                                                                                                 | 111       |
| Kononovich D. A. Results of experimental studies machine for collection of forest residues.....                                                                                                                                                         | 118       |
| Golyakevich S. A., Goronovsky A. R., Mokhov S. P. Results of imitation modeling hydraulic<br>system for forwarder in MATLAB / SIMULINK / SIMSCAPE.....                                                                                                  | 126       |

|                                                                                                                                                                                                                            |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>WOODWORKING INDUSTRY .....</b>                                                                                                                                                                                          | <b>132</b>     |
| <b>Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shetko S. V.</b> Resistance of protective and decorative coatings to stain formation.....                                                                                         | 132            |
| <b>Pinchevskaya Ye. A., Tsapko A. Yu.</b> Optimization of the composition of an organic constituent of fire retardant wood covering.....                                                                                   | 137            |
| <b>Nevzorova A. B., Makeev V. V., Vrublevskaya V. I.</b> Method confocal microscopy to control the degree of filling of the cavities of the wood.....                                                                      | 145            |
| <b>Fedosenko I. G., Usovich A. V.</b> Production planning of properties of wood based materials with mineral binders.....                                                                                                  | 152            |
| <b>Mazanik N. V.</b> Use of chitosan for the protection of wood against fungi .....                                                                                                                                        | 158            |
| <b>Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A., Shet'ko S. V.</b> Modern constructions and materials for ski .....                                                                                                                 | 163            |
| <b>Prokhorchik S. A., Kisel A. Yu.</b> Special techniques in finishing of larchwood and thermowood exposed to weater with oil .....                                                                                        | 169            |
| <br><b>ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX .....</b>                                                                                                                                                    | <br><b>176</b> |
| <b>Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Alifirovets G. V.</b> The results of studies of the lifespan of a flat cylindrical milling cutters profile knives machines .....                                                    | 176            |
| <b>Marozava V. I., Grishkevish A. A.</b> The results of the practical use of rational modes of grinding of wood birch in terms of production.....                                                                          | 181            |
| <b>Lukash V. T., Grinevich S. A., Kiselev S. V.</b> Features of forming cutting teeth of circular carbide saws with different profiles.....                                                                                | 185            |
| <b>Klepatski I. K., Rapovets V. V.</b> Effective methods to increase the period of durability of knives for aggregate processing of wood .....                                                                             | 190            |
| <b>Kim Yu. A., Bobrovich V. A., Voytekhovskiy B. V., Isachenkov V. S.</b> To the question of the interaction of the wheel propulsion with a deformable base.....                                                           | 196            |
| <b>Belsky S. E., Blakhin A. V., Tsaruk F. F., Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srour.</b> Equipment complex for ensuring the research of the characteristics of multi-cycle fatigue using high loading frequencies ..... | 201            |

Редактор *Е. И. Гоман*  
Компьютерная верстка *А. А. Селиванова, О. А. Солодкевич*  
Корректор *Е. И. Гоман*

Подписано в печать 15.01.2019. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 24,5. Уч.-изд. л. 26,2.  
Тираж 100 экз. Заказ 9.

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.