

ISSN 2519-402X



# ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал



Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ  
И ПЕРЕРАБОТКА  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 1 (228) 2020 год

Рубрики номера:

Управление лесами, лесоустройство  
и информационные системы в лесном хозяйстве

Лесная экология и лесоводство

Лесовосстановление и лесовозведение

Туризм и лесохотничье хозяйство

Лесопромышленный комплекс.  
Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность

Общеинженерные вопросы  
лесопромышленного комплекса



Минск 2020

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 (228) 2020 год**

*Выходит два раза в год*

Минск 2020

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. 1 (228) 2020**

*Published biannually*

Minsk 2020

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

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

**Редакционная коллегия журнала:**

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

**Редакционная коллегия серии:**

Кунтыш В. Б., доктор технических наук, профессор (главный редактор серии), Республика Беларусь;  
Штукин С. С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор (заместитель главного редактора серии), Республика Беларусь;  
Звягинцев В. Б., кандидат биологических наук, доцент, Республика Беларусь;  
Каплич В. М., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Крук Н. К., кандидат биологических наук, доцент, Республика Беларусь;  
Носников В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Республика Беларусь;  
Соловьева Т. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;  
Парфенов В. И., академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Булавик И. М., доктор сельскохозяйственных наук, Республика Беларусь;  
Кох Барбара, доктор наук, профессор, Федеративная Республика Германия;  
Лакида П. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Украина;  
Маркова И. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российская Федерация;  
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;  
Савевич К. Ф., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Сарнацкий В. В., доктор биологических наук, Республика Беларусь;  
Тябера Альбинас, доктор наук, профессор, Литовская Республика;  
Усенья В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;  
Коробко Е. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Вавилов А. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;  
Бир Петр, доктор технических наук, профессор, Республика Польша;  
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;  
Савельев А. Г., доктор технических наук, профессор, Латвийская Республика;  
Балтрушайтис Антанас, кандидат технических наук, Литовская Республика;  
Онегин В. И., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, Российская Федерация;  
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;  
Богданович Н. И., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;  
Игнатович Л. В., кандидат технических наук, доцент (ответственный секретарь), Республика Беларусь;  
Гордей Д. В., кандидат биологических наук (секретарь), Республика Беларусь.

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

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

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

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

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

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



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

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

**Editorial (Journal):**

Dormeshkin O. B., DSc (Engineering), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;  
Zharskiy I. M., PhD (Chemistry), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;  
Kuntyshev V. B., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;  
Prokopchuk N. R., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Republic of Belarus;  
Vodop’yanov P. A., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Philosophy), Professor, Republic of Belarus;  
Novikova I. V., DSc (Economics), Professor, Republic of Belarus;  
Narkevich I. I., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Republic of Belarus;  
Dolgova T. A., PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Republic of Belarus;  
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;  
Zakharuk T., DSc (Pedagogics), Professor, Republic of Poland;  
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;  
Barčík Štefan, DSc, Professor, Slovak Republic;  
Zhantasov K. T., DSc (Engineering), Professor, Republic of Kazakhstan;  
Harsha Ratnaweera, DSc, Professor, Kingdom of Norway;  
Rangelova E. M., DSc (Pedagogics), Professor, Republic of Bulgaria;  
Shklyar Benzion, Professor, State of Israel;  
Hassel L. G., DSc, Professor, Kingdom of Sweden;  
Faigle W., DSc, Professor, Federal Republic of Germany;  
Flyurik E. A., PhD (Biology), Associate Professor (secretary), Republic of Belarus.

**Editorial (Issue):**

Kuntyshev V. B., DSc (Engineering), Professor (managing editor), Republic of Belarus;  
Shtukin S. S., DSc (Agriculture), Professor (sub-editor), Republic of Belarus;  
Zvyagintsev V. B., PhD (Biology), Associate Professor, Republic of Belarus;  
Kaplich V. M., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;  
Kruk N. K., PhD (Biology), Associate Professor, Republic of Belarus;  
Nosnikov V. V., PhD (Agriculture), Associate Professor, Republic of Belarus;  
Solov’yeva T. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;  
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;  
Parfenov V. I., Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;  
Bulavik I. M., DSc (Agriculture), Republic of Belarus;  
Koch Barbara, DSc, Professor, Federal Republic of Germany;  
Lakida P. I., DSc (Agriculture), Professor, Ukraine;  
Markova I. A., DSc (Agriculture), Professor, Russian Federation;  
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;  
Saevich K. F., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;  
Sarnatskiy V. V., DSc (Biology), Republic of Belarus;  
Tebėra Albinas, DSc, Professor, Republic of Lithuania;  
Usenya V. V., DSc (Agriculture), Professor, Republic of Belarus;  
Korobko E. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;  
Vavilov A. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;  
Beer Piotr, DSc (Engineering), Professor, Republic of Poland;  
Barčík Štefan, Professor, Slovak Republic;  
Savel’yev A. G., DSc (Engineering), Professor, Republic of Latvia;  
Baltrushaitis Antanas, PhD (Engineering), Republic of Lithuania;  
Onegin V. I., DSc (Engineering), Professor, Honored Worker of Science and Engineering, Russian Federation;  
Bashkurov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;  
Bogdanovich N. I., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;  
Ignatovich L. V., PhD (Engineering), Associate Professor (executive editor), Republic of Belarus;  
Gordey D. V., PhD (Biology) (secretary), Republic of Belarus.

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

Telephones: editor-in-chief (+375 17) 226-14-32;

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

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

# УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

---

УДК 630\*524.4

**А. А. Пушкин, Н. Я. Сидельник, С. В. Ковалевский**  
Белорусский государственный технологический университет

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА EVI ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

В статье рассматривается динамика значений спектрального вегетационного индекса EVI с целью его использования для дешифрирования лесоводственно-таксационных показателей лесных насаждений по материалам космической съемки. Экспериментальные расчеты выполнялись на основе разновременных материалов космической съемки Landsat 8 на территорию ГЛХУ «Воложинский лесхоз». Исследовались зависимости значений спектрального индекса EVI от преобладающей породы, класса возраста и полноты. Осуществлен подбор разновременных космических снимков, полученных весной, летом и осенью, на территорию объекта исследований и их предварительная обработка. В качестве наземных эталонных данных использовалась информация базового лесоустройства ГЛХУ «Воложинский лесхоз». Обработка материалов космической съемки, данных лесоустройства и анализ полученных результатов выполнялись на основе геоинформационной системы Quantum GIS. Расчет значений спектрального вегетационного индекса EVI проведен в соответствии с принятыми методиками для каждого таксационного выдела с определением стандартной ошибки. Оценка полученных расчетных значений индекса EVI выполнялась с использованием программных функций пространственного геоинформационного анализа данных.

В результате проведенных работ рассчитаны и проанализированы значения спектрального вегетационного индекса EVI по преобладающим породам, классам возраста и группам полнот по материалам весенней, летней и осенней космической съемки Landsat 8.

**Ключевые слова:** космическая съемка, Landsat 8, вегетационный индекс, лесное насаждение, лесоводственно-таксационные показатели, геоинформационная система.

**A. A. Pushkin, N. Ya. Sidelnik, S. V. Kovalevskiy**  
Belarusian State Technological University

## **ESTIMATION OF POSSIBILITIES OF USING THE EVI SPECTRAL VEGETATION INDEX FOR DECIPHERING FOREST STANDS BY SATELLITE IMAGERY**

The article discusses the dynamics of the values of the spectral vegetation index EVI with the aim of using it to deciphering stand characteristics based on satellite imagery. Experimental calculations were performed on the basis of Landsat 8 space imagery materials at different times on the territory of the Volozhinsky Forestry. The dependences of the values of the spectral index EVI on the predominant species, age class and stand density were studied. A selection of different-time satellite images taken in the spring, summer, and fall was performed on the territory of the object of research and their preliminary processing. As the ground reference data, the information from the forest inventory of the Volozhinsky Forestry was used. Processing of satellite imagery materials, forest inventory data and analysis of the results obtained was carried out on the basis of the Quantum GIS geographic information system. The calculation of the values of the spectral vegetation index EVI was performed in accordance with the accepted methods for each compartment with the definition of the standard error. Evaluation of the calculated values of the EVI index was carried out using the software functions of spatial geographic information analysis of the data. As a result of the work, the values of the EVI

spectral vegetation index were calculated and analyzed for the predominant species, age class and stand density based on the Landsat 8 spring, summer and autumn satellite imagery.

**Key words:** satellite imagery, Landsat 8, vegetation index, forest stand, stand characteristics, geographic information system.

**Введение.** Современные системы космического дистанционного зондирования Земли позволяют решать достаточно обширный круг задач по оценке лесных ресурсов и лесохозяйственной деятельности [1]. Решение данных задач предусматривает прежде всего проведение тематической обработки материалов космической съемки. Большинство используемых подходов к тематической классификации основано на применении коэффициентов спектральной яркости (КСЯ). КСЯ представляют собой дискретные безразмерные цифровые значения пикселей изображения, полученные путем регистрации отраженного от объектов местности солнечного излучения посредством дистанционных датчиков спутника.

Различия коэффициентов спектральной яркости растений и их частей обуславливаются составом и состоянием пигментов растительных и покровных тканей, морфологией растения в целом, возрастом, экологическими условиями [2, 3]. В этой связи разработка сканерных систем дистанционного зондирования Земли осуществляется с учетом возможности регистрации специфических различий отражаемой от разных объектов солнечной энергии. Выделение большего числа спектральных диапазонов съемки повышает вероятности идентификации объектов и определение их характеристик на космическом снимке.

Однако значения коэффициентов спектральной яркости подвержены существенным вариациям в зависимости от состояния атмосферы, времени съемки, высоты солнцестояния и других параметров. В связи с этим дешифрирование лесных насаждений и оценка их лесоводственно-таксационных показателей по материалам космической съемки может выполняться с использованием спектральных вегетационных индексов.

Вегетационные индексы представляют собой арифметические комбинации значений коэффициентов спектральной яркости в отдельных спектральных каналах аэрокосмического изображения. Данные выражения выводятся на основе эмпирических наблюдений и имеют целью увеличение информативности сигнала в отдельных каналах для исследований растительности при одновременном снижении влияния побочных факторов: влияние атмосферы, яркости почвы, эффекта насыщения, зависимости от геометрии наблюдений и т. п. [2, 3].

В настоящее время известно порядка 160 вегетационных индексов, группируемых в катего-

рии по свойству растительности, которое они характеризуют [2, 4]:

- индексы «зеленности», отражающие общее количество растительности и используемые для оценки ее состояния;
- индексы, учитывающие соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света;
- индексы содержания и концентрации азота в растительном покрове;
- индексы, учитывающие содержание «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы;
- индексы содержания пигментов каротиноидов и антоционина;
- индексы оценки содержания влаги в растениях и оценки сухости.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Отношение двух данных показателей друг к другу позволяет отделять растительность от других природных объектов [3].

**Основная часть.** Цель проводимых исследований – оценка сезонной динамики спектрального вегетационного индекса EVI в зависимости от основных лесоводственно-таксационных показателей лесных насаждений для ее последующего использования при тематической обработке материалов космической съемки.

Для анализа состояния лесной растительности по данным мультиспектрального дистанционного зондирования весьма популярным является нормализованный дифференциальный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), рассчитываемый по значениям отражения в красной и ближней инфракрасной областях спектра [4]:

$$NDVI = \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + B_{RED}}, \quad (1)$$

где  $B_{NIR}$ ,  $B_{RED}$  – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения соответственно в ближней инфракрасной и красной областях спектра.

Однако, как отмечается в работах многих авторов, NDVI чувствителен к фоновому отражению, а также склонен к насыщению в лиственных

насаждениях, что ограничивает использование данного индекса для определения составов лесных насаждений [3, 4].

В качестве альтернативы NDVI используется усовершенствованный вегетационный индекс EVI: он менее чувствителен к ограничениям, но требует наличия синего диапазона волн. EVI позволяет выделить больше градаций на территориях с большим количеством зеленой биомассы, при этом влияние почвы и атмосферы в значениях данного индекса минимизированы [3, 4]. Расчет спектрального вегетационного индекса EVI выполняется в соответствии с приведенным уравнением:

$$EVI = 2,5 \cdot \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + 6 \cdot B_{RED} - 7,5 \cdot B_{BLUE} + 1}, \quad (2)$$

где  $B_{NIR}$  – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения в ближней инфракрасной области спектра;  $B_{RED}$  – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения в красной области спектра;  $B_{BLUE}$  – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения в синей области спектра.

В связи с вышепредставленными преимуществами в проводимых исследованиях применялся спектральный вегетационный индекс EVI.

В качестве объекта исследований выбрана территория Воложинского лесхоза Минского ГПЛХО. На названную территорию получены данные лесоустройства, включающие векторный картографический слой таксационных выделов и выдельную базу данных по материалам базового лесоустройства с актуализацией. После проведения ряда операций по преобразованию исходных данных на базе программного обеспечения Quantum GIS создан проект геоинформационной системы Воложинского лесхоза. При этом каждому таксационному выделу на цифровой карте подключалась соответствующая запись атрибутивной таблицы данных. Таблица включает основные характеристики земель лесного фонда и лесных насаждений: площадь выдела, категория земель, преобладающая порода, класс возраста, полнота, класс бонитета, запас и др. [5]

Расчет спектральных вегетационных индексов выполнялся на основе материалов космической съемки Landsat 8. Данная система космического дистанционного зондирования Земли является последней и наиболее усовершенствованной из семейства космических аппаратов серии Landsat [6]. Информация распространяется свободно и доступна потребителям по сети интернет. Характеристика материалов космической съемки представлена в табл. 1.

Таблица 1

### Характеристика используемых материалов космической съемки Landsat 8

Режим съемки	VNIR	SWIR	PAN	TIR
Спектральный диапазон, мкм	0,43–0,45 (фиолетовый)	1,36– 1,39	0,50– 0,68	10,6– 11,19 (TIRS1)
	0,45–0,52 (синий)	(облачность)		
	0,53–0,60 (зеленый)	1,56– 1,66	11,5– 12,51 (TIRS2)	
	0,63–0,68 (красный)	(SWIR1)		
	0,85–0,89 (ближний инфракрасный)	2,10– 2,30		
		(SWIR2)		
Пространственное разрешение, м	30	30	15	100

*Примечание.* VNIR – спектральные каналы оптического диапазона; SWIR – спектральные каналы коротковолнового диапазона; PAN – спектральные каналы панхроматического диапазона; TIR – спектральные каналы теплового диапазона.

Таким образом, для вычисления спектрального вегетационного индекса EVI в соответствии с уравнением (2) необходимы три спектральных канала оптического диапазона VNIR: синий, красный и ближний инфракрасный (табл. 1).

С целью учета сезонной динамики на территорию Воложинского лесхоза подготовлены и использовались материалы космической съемки на три даты 05.06.2017, 18.03.2017, 24.10.2017, представляющие три сезона года: весна, лето и осень.

Перед расчетом значений спектрального вегетационного индекса выполняется предварительная обработка растровых изображений, применяемых в расчете спектральных диапазонов. Важнейшей составляющей предварительной обработки является проведение атмосферной и радиометрической коррекции. В противном случае полученные расчетные данные спектральных вегетационных индексов будут некорректны. Атмосферная коррекция проводится с целью устранения разнообразных дефектов изображения, а также для улучшения качества снимков с целью получения наибольшего объема информации об интересующем объекте. Радиометрическая коррекция снимков земной поверхности, полученных с помощью космической съемки, предусматривает устранение искажений яркости исходного изображения [7].

В настоящее время процедуры проведения атмосферной и радиометрической коррекции

автоматизированы и реализованы во многих видах программного обеспечения геоинформационных систем и систем обработки данных дистанционного зондирования Земли. В исследовании такие преобразования выполнялись на основе дополнительного программного модуля Quantum GIS с применением в качестве входных данных метафайлов космических снимков, содержащих необходимые коэффициенты для проведения пересчетов значений спектральных яркостей пикселей [8].

Расчет значений спектрального индекса EVI выполнялся на основе базовых программных функций геоинформационной системы Quantum GIS с использованием калькулятора растровых изображений (рисунок). В результате были сформированы индексные растровые изображения, содержащие в таблице атрибутивных данных расчетные значения спектрального вегетационного индекса EVI.

С использованием функций пространственного геоинформационного анализа данных для каждого таксационного выдела цифровой карты определялось среднее значение вегетационного индекса EVI каждого сезона съемки (весна, лето, осень).

Таким образом, с применением геоинформационных технологий сформирована атрибутивная таблица данных, включающая, помимо основных лесоводственно-таксационных показателей, рассчитанные значения спектрального вегетационного индекса EVI по сезонам съемки.

Дальнейшая оценка зависимостей спектрального индекса EVI от лесоводственно-

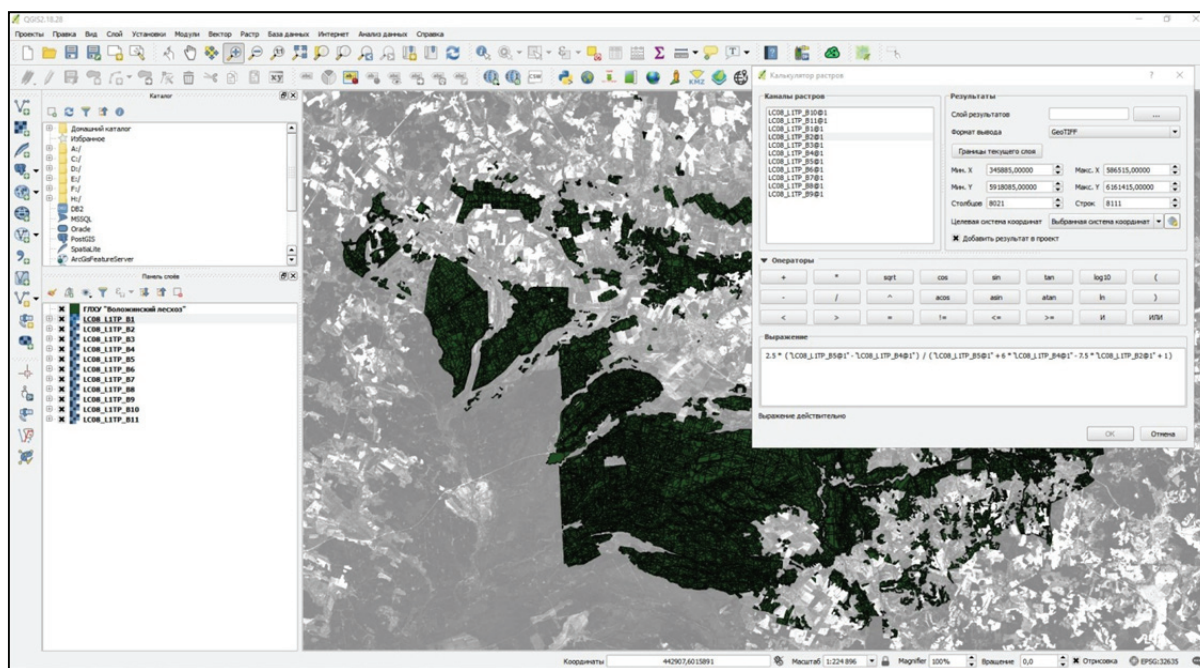
таксационных показателей проводилась с использованием программных функций построения запросов к атрибутивной таблице данных, а также определения стандартной ошибки на основе известных статистических методов.

Рассчитанные значения спектрального вегетационного индекса EVI в зависимости от преобладающей породы представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Значения вегетационного индекса EVI по преобладающим породам (Landsat 8)

Преобладающая порода	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Сосна	0,3567 ± 0,0007	0,5376 ± 0,0013	0,4025 ± 0,0008
Ель	0,3100 ± 0,0016	0,6661 ± 0,0041	0,3507 ± 0,0019
Дуб	0,2948 ± 0,0099	0,7613 ± 0,0326	0,3486 ± 0,0102
Береза	0,2961 ± 0,0018	0,6900 ± 0,0033	0,3393 ± 0,0021
Ольха черная	0,2778 ± 0,0035	0,7438 ± 0,0073	0,3274 ± 0,0037
Осина	0,2809 ± 0,0090	0,7795 ± 0,0195	0,3208 ± 0,0100

Анализ полученных результатов расчетов (табл. 2) показывает, что стандартная ошибка определения значений спектрального индекса EVI небольшая, что указывает на достаточно высокую точность определения средних значений.



Расчет спектральных вегетационных индексов по материалам космической съемки средствами геоинформационной системы Quantum GIS

Наибольшие различия в значениях индекса характерны в летний период при наличии листвы на деревьях. Самое высокое значение индекса летом имеют осиновые древостои (0,7795), а самое низкое – сосновые (0,5376). Различия в значениях индекса лиственных лесообразующих пород небольшие, что затрудняет определение конкретной лиственной породы по снимку. При этом достаточно хорошо отделяются насаждения хвойных пород от лиственных. В весенний и осенний периоды различия в значениях индекса хвойных и лиственных пород незначительны. Таким образом, для дешифрирования по космическому снимку преобладающих пород наиболее подходящими следуют признать космические снимки, получаемые в летний период.

Поскольку спектральный вегетационный индекс EVI характеризует наличие зеленой биомассы, интерес представляет сопоставление его расчетных значений с классами возраста лесных насаждений и их полнотами.

Значения спектрального вегетационного индекса EVI, определенного по материалам космической съемки Landsat 8, в разрезе классов возраста хвойных и лиственных лесообразующих пород представлены в табл. 3.

Для хвойных насаждений характерна незначительная динамика вегетационного индекса как по сезонам съемки, так и по классам возраста.

На космическом снимке, полученном весной, значения спектрального вегетационного индекса EVI хвойных насаждений находятся в пределах 0,3346–0,3594. При съемке осенью значения варьируют от 0,3746 до 0,4083, а летом – от 0,5226 до 0,5789.

Таблица 3

**Значения вегетационного индекса EVI по классам возраста (Landsat 8)**

Класс возраста	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Хвойные насаждения			
1	0,3541 ± 0,0077	0,5789 ± 0,0147	0,4083 ± 0,0089
2	0,3562 ± 0,0030	0,5543 ± 0,0052	0,4072 ± 0,0040
3	0,3573 ± 0,0011	0,5316 ± 0,0022	0,4043 ± 0,0013
4	0,3593 ± 0,0011	0,5226 ± 0,0021	0,4012 ± 0,0014
5	0,3594 ± 0,0016	0,5245 ± 0,0029	0,4025 ± 0,0020
6	0,3476 ± 0,0049	0,5376 ± 0,0100	0,3855 ± 0,0058
7	0,3346 ± 0,0302	0,5628 ± 0,0146	0,3746 ± 0,0301

Окончание табл. 3

Класс возраста	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Лиственные насаждения			
1	0,3190 ± 0,0052	0,6438 ± 0,0103	0,3691 ± 0,0056
2	0,2982 ± 0,0038	0,6290 ± 0,0072	0,3443 ± 0,0043
3	0,2985 ± 0,0036	0,6355 ± 0,0060	0,3411 ± 0,0041
4	0,2895 ± 0,0045	0,6530 ± 0,0085	0,3279 ± 0,0055
5	0,3016 ± 0,0049	0,6908 ± 0,0098	0,3463 ± 0,0054
6	0,2735 ± 0,0062	0,6735 ± 0,0107	0,3108 ± 0,0066
7	0,2528 ± 0,0065	0,6922 ± 0,0107	0,2897 ± 0,0075
8	0,2883 ± 0,0085	0,7168 ± 0,0241	0,3310 ± 0,0083

Таким образом, в летний период съемки значения вегетационного индекса EVI хвойных лесов несколько выше весенних и осенних. Данный факт, по всей видимости, обуславливается облиствением подроста и подлеска, что влияет на спектральные характеристики отображения хвойных насаждений на космическом снимке. Динамика значений спектрального индекса по классам возраста в пределах одного снимка весьма незначительна.

Значения спектрального вегетационного индекса EVI весенней и осенней съемок лиственных насаждений схожи со значениями, полученными для хвойных лесов. По весеннему космическому снимку значения индекса лиственных насаждений находятся в пределах 0,2528–0,3190, а по осеннему – 0,3108–0,3691. В летний период съемки значения индекса минимум в два раза выше, что обуславливается распусканьем листьев на деревьях. Достоверная динамика индекса по классам возраста не прослеживается.

Расчетные значения спектрального индекса EVI по группам полнот представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Значения вегетационного индекса EVI по группам полнот (Landsat 8)**

Группа полноты	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Хвойные насаждения			
0,1–0,3	0,3431 ± 0,0109	0,5042 ± 0,0294	0,3909 ± 0,0120
0,4–0,5	0,3582 ± 0,0027	0,5104 ± 0,0059	0,4104 ± 0,0035
0,6–0,7	0,3650 ± 0,0009	0,5020 ± 0,0019	0,4124 ± 0,0012
0,8–1,0	0,3722 ± 0,0010	0,4998 ± 0,0021	0,4211 ± 0,0013



Окончание табл. 4

Группа полноты	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Лиственные насаждения			
0,1–0,3	0,2561 ± ± 0,0073	0,6683 ± ± 0,0222	0,2831 ± ± 0,0172
0,4–0,5	0,2914 ± ± 0,0046	0,6767 ± ± 0,0086	0,3449 ± ± 0,0049

В целом общие тенденции в распределении значений спектрального вегетационного индекса EVI по группам полнот схожи с распределением данного индекса по классам возраста. Прослеживается динамика по сезонам проведения космической съемки: значения EVI в летний период выше весенних и осенних. Существенных раз-

личий в значениях спектрального индекса по группам полнот в пределах одного космического снимка не наблюдается.

**Заключение.** Результаты анализа значений спектрального вегетационного индекса EVI показывают, что прослеживается сезонная динамика его значений – летние значения выше весенних и осенних. Наибольшие различия по преобладающим породам характерны для летних снимков. Динамика по классам возраста и группам полнот не прослеживается, что требует проведения дополнительных исследований по уточнению объектов расчета – их дифференциации не только по преобладающим породам, но и другим лесоводственно-таксационным показателям (типам условий местопрорастания, составам насаждений).

### Литература

1. Тебера А., Севрук П. В., Минкевич С. И. Лесное хозяйство и лесоустройство в Литовской Республике // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 46–49.
2. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.
3. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
4. Разнообразие и динамика лесных экосистем России: в 2 кн. / А. С. Исаев (ред.). Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. Кн. 1. 461 с.
5. Коцан В. В. Разработка электронной модели и базы данных дендрологического парка // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 26–28.
6. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // Геоматика. 2013. № 2. С. 16–36.
7. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 36–40.
8. Зенкевич Ю. Э., Глушков И. В., Антонова Т. А. Мониторинг лесохозяйственной деятельности: опыт применения данных космической съемки высокого и сверхвысокого разрешения // Земля из космоса. 2009. № 1. С. 17–21.

### References

1. Tebera A., Sevruk P. V., Minkevich S. I. Forestry and forest inventory in the Republic of Lithuania. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 46–49 (In Russian).
2. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spectral properties of vegetation and vegetative indices. *Geomatika* [Geomatics], 2009, no. 3, pp. 28–32 (In Russian).
3. Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O. *Sputnikovoye kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia]. Moscow, IKI RAN Publ., 2016. 208 p.
4. A. S. Isayev (eds.). *Raznoobraziye i dinamika lesnykh ekosistem Rossii* [The diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnyh izdaniy KMK Publ., 2012. Book 1. 461 p.
5. Kotsan V. V. Development of an electronic model and database of the dendrological park. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 26–28 (In Russian).
6. Dvorkin B. A., Dudkin S. A. The newest and most promising satellites of Earth remote sensing. *Geomatika* [Geomatics], 2013, no. 2, pp. 16–36 (In Russian).
7. Pushkin A. A., Sidelnik N. Ya., Kovalevskiy S. V. Use of space survey materials to assess fire danger in forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 36–40 (In Russian).
8. Zenkevich Yu. E., Glushkov I. V., Antonova T. A. Monitoring of forestry activities: experience in the application of high-resolution and high-resolution space imagery data. *Zemlya iz kosmosa* [Earth from space], 2009, no. 1, pp. 17–21 (In Russian).

**Информация об авторах**

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

**Сидельник Николай Ярославович** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sidelnik@belstu.by

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

**Information about the authors**

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

**Sidelnik Nikolai Yaroslavovich** – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sidelnik@belstu.by

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

*Поступила 31.10.2019*



УДК 630\*181

**Е. В. Дегтярева, А. А. Болботунов**  
Полоцкий государственный университет

**ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ХВОЙНЫХ ПОРОД  
НА ТЕРРИТОРИИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ  
ГОРОДА НОВОПОЛОЦКА**

Леса санитарно-защитных зон являются естественным барьером между жилой частью города и промышленной зоной. Они, находясь под постоянным техногенным воздействием, служат своеобразными индикаторами состояния окружающей среды. Количественным показателем оценки состояния древостоя может выступать динамика радиального прироста. В ходе длительного дендрохронологического мониторинга на постоянных пробных площадях в санитарной защитной зоне г. Новополоцка выявляются реакции ширины годичного кольца деревьев хвойных пород на аэротехногенное загрязнение, гидромелиорацию, внесение удобрений. Сравнение ведется с естественно развивающимися аналоговыми пробными площадями, находящимися вне зоны техногенного воздействия.

Показаны возможности математического моделирования динамики радиального прироста хвойных пород деревьев на урбанизированных территориях. Выполнен прогноз динамики ширины годичного кольца до 2030 г. для хвойных насаждений на фоне проектирования установки по сжиганию нефтяного кокса.

**Ключевые слова:** аэротехногенное загрязнение, дендрохронология, радиальный прирост, хвойные породы деревьев, дендрошкалы, моделирование.

**E. V. Degtyareva, A. A. Bolbotunov**  
Polotsk State University

**DENDROCHRONOLOGICAL MONITORING OF CONIFEROUS  
IN THE TERRITORY OF THE SANITARY PROTECTION ZONE  
OF THE NOVOPOLOTSK CITY**

The forests of health protection zones are a natural buffer between the residential part of the city and the industrial zone. These forest stands, being under constant technogenic influence, are peculiar indicators of the state of the environment. A quantitative indicator of the assessment of the state of the forest stand can be the dynamics of the radial growth. During the long dendrochronological monitoring on permanent test plots in the buffer health sanitary protection zone of Novopolotsk, the response of the annual ring width of coniferous to aero-technogenic pollution, hydro-reclamation, and fertilization are identified. The comparison is carried out with naturally developing analog sample plots located outside the zone of anthropogenic impact.

The article shows the possibilities of mathematical modeling of the dynamics of the radial nature of coniferous trees in urbanized areas. The forecast of the dynamics of the annual ring width up to 2030 for pine stands against the background of the design of an oil coke burning plant was made.

**Key words:** technogenic air pollution, dendrochronology, annual tree ring width, coniferous trees, radial growth scales, modeling.

**Введение.** Лесные экосистемы Беларуси, являясь восполнимым ресурсом, имеют важное экономическое и огромное экологическое значение, которое распространяется и за пределы республики. Леса Беларуси обеспечивают регулирование водного режима трансграничных рек, депонируют углерод в объемах, превышающих эмиссии CO<sub>2</sub> в республике, поставляя кислород и для сопредельных территорий. Вопросы, связанные с разработкой лесохозяйственных мероприятий для увеличения депонирующей функции лесов и созданием методик оценки адсорбции углерода, в настоящее время очень актуальны и широко рассматриваются в литературе [1, 2, 3].

Особую роль в экологическом плане играют леса санитарных защитных зон предприятий, являясь локальным барьером между источником эмиссий и населенным пунктом. Находясь под сильным антропогенным воздействием (аэротехногенное воздействие стационарных источников, интенсивная рекреация, воздействие мобильных источников загрязнения, гидромелиорация и т. д.), эти насаждения нуждаются в постоянном мониторинге и особых хозяйственных мероприятиях, которые будут учитывать возраст экологической спелости, технологии рубок, оптимальный подбор породных составов, использование минеральных удобрений и т. д. [1, 2, 4].

Санитарно-защитная зона г. Новополоцка (далее СЗЗ) представляет собой лесную полосу шириной 4,5 км между городом и промышленной зоной. В типологическом отношении леса здесь отличаются разнообразием и представлены всеми основными типами, характерными для бореальных лесов. Работы по мониторингу лесов на территории СЗЗ г. Новополоцка начаты в Полоцком государственном университете на кафедре геодезии и кадастров в 1988 г. Объекты исследований расположены в сосновых и еловых фитоценозах III–VI классов возраста. Для контроля использованы аналоговые пробные площади на расстоянии 10, 25, 65–120 км в различных лесничествах Полоцкого лесхоза, Двинской экспериментальной лесной базы Института леса НАН Республики Беларусь, на особо охраняемых природных территориях Белорусского Поозерья.

За период исследований устанавливалось состояние фитоценозов, выполнялись наблюдения за уровнем грунтовых вод, мониторинг изменения агрохимических свойств почв на ряде проб [5]. Постоянные пробные площади, заложенные в хвойных древостоях в разных условиях местопроизрастания, позволяют оценить влияние техногенных, климатических и мелиоративных факторов на типологической основе. Ширина годовичного кольца является замечательным индикатором антропогенных и климатических воздействий: как негативных, так и положительных. Дендрохронологические исследования позволяют количественно оценить воздействие тех или иных факторов (выбросы, пожары, удобрения, рубки ухода, засуха, подтопление и т. д.) на состояние древостоев, а также выполнить прогноз динамики развития. Регулярно актуализирующиеся дендрохронологические шкалы дают возможность оперативно оценить степень антропогенного воздействия в санитарно-защитной зоне г. Новополоцка.

Новополоцк, к сожалению, уже традиционно относится к числу городов с наиболее высокой плотностью эмиссии вредных веществ (рис. 1). Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются предприятия нефтеперерабатывающей, химической промышленности, теплоэнергетики и автотранспорт.

В структуре выбросов преобладает диоксид серы (35%). В отличие от других городов республики, на долю автотранспорта в Новополоцке приходится всего около 5% [6].

По данным на начало 2018 г., на контрольных пунктах, расположенных в черте города, отмечается снижение содержания в воздухе диоксида азота и сероводорода по сравнению с 2013 г. Однако наметилась устойчивая тенденция увеличения среднегодовых концентраций фенола и свинца.

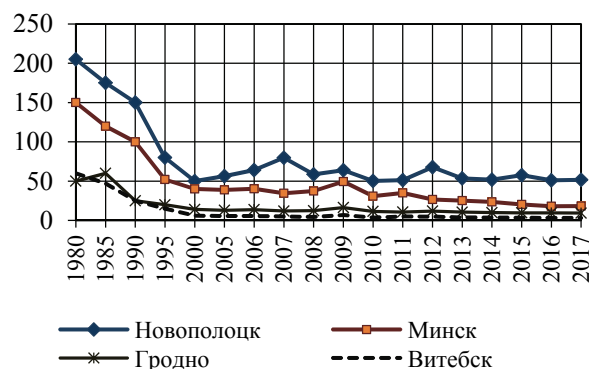


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по отдельным городам (тыс. т) [6]

**Основная часть.** В целом состояние лесных насаждений в зоне воздействия Новополоцкого нефтеперерабатывающего комплекса оценивается как удовлетворительное. В настоящее время на фоне устойчивого объема атмосферных выбросов доля здоровых деревьев составила в среднем порядка 46% (рис. 2). Схожие данные получили в ходе исследований и коллеги из Института экспериментальной ботаники [7].



Рис. 2. Распределение деревьев по категориям состояния на исследованных пробных площадях, в процентах, согласно переписям 2015–2018 гг.

На основании лесоустроительного проекта и по согласованию с работниками Фариновского лесничества Полоцкого лесхоза, на землях которого расположена СЗЗ, лесохозяйственные работы на постоянных пробных площадях максимально ограничены. Этим объясняется значительное количество сухостоя. Сухостой при отсутствии мероприятий по уборке захламленности стоит на корню, как правило, 5–10 лет (76% всего сухостоя). В гидроморфных условиях сухостой способен оставаться в вертикальном положении более 20 лет (по данным последних переписей, это 10% от всего сухостоя).

Наибольшие объемы выбросов пришлось на 1980-е гг., что отразилось на радиальном приросте хвойных пород в СЗЗ. На рис. 3 показаны фрагменты дендрохронологических шкал ели, таксационные характеристики приведенных в статье постоянных пробных площадей (далее ППП) даны в таблице.



Рис. 3. Техногенное воздействие 1980–1995 гг. на ельнички черничные в разной удаленности от источника аэротехногенного загрязнения

#### Характеристики постоянных пробных площадей

Название и расположение ППП	Порода, возраст, количество деревьев	Состав, ТУМ, тип леса	Удаленность от завода, кернов в шкале
ППП 16 Фариновское лес-во, кв. 68	Ель 150 лет 198	10Е С <sub>2</sub> Е. кис.	200 м 26
ППП 24 Фариновское лес-во, кв. 12	Ель 110 лет 162	10Е С <sub>2</sub> Е. кис.	2 км 25
ППП 47 Борковичское лес-во, кв. 87	Ель 130 лет 200	6С4Е В <sub>2</sub> С. кис.	25 км 21
Новополоцк Объект озеленения	Сосна 135 лет 36	10С А <sub>3</sub> газон*	5 км 28
ППП 23 Фариновское лес-во, кв. 41	Сосна 120 лет 126	10С А <sub>4</sub> С. сф.	0,5 км 27

\* Трансформация из ГЛФ, ранее С. чер.

\*\* Мелиоративное воздействие, ранее А<sub>5</sub>.

Представленные на графике насаждения расположены на разном удалении от источника эмиссии. Как видно на рис. 3, радиальный прирост древостоя на ППП 16 понизился почти наполовину по сравнению с аналоговым насаждением ППП 47. Даже насаждение, находящееся на территории СЗЗ, но на 2 км дальше, не столь остро реагировало на ухудшение экологической ситуации.

В данный период на дендрохронологических шкалах, разработанных для насаждений СЗЗ г. Новополоцка, отмечается удовлетворительное состояние. Даже те пробные площади, которые находятся непосредственно близко к источнику загрязнения, после 1995 г. стабилизировали динамику радиального прироста.

Пример положительного антропогенного воздействия показан на рис. 4. Этот 130-летний сосновый древостой включен в городское озеленение из гослесфонда в 1985 г. После строительства Дворца Бракосочетаний и реконструкции территории в 2007 г. было решено поддержать состояние части деревьев (секция 1) внесением минеральных удобрений в дозах Р<sub>60</sub>Н<sub>60</sub>К<sub>60</sub>. Эффект от внесения удобрений сохраняется уже 11 лет.



Рис. 4. Эффективность внесения удобрений в реконструированном парковом насаждении сосны возле Дворца бракосочетаний г. Новополоцка

Известно, что лес является открытой, динамической, саморегулирующейся, мультистабильной и очень сложной системой, однако присутствующие закономерности дают возможность описать дендрохронологическую шкалу в виде математической функции и выполнить прогноз на ближайшие годы [8]. Наилучшим образом моделируются естественные процессы без антропогенного воздействия, подверженные влиянию только климатических условий, которые, как считают многие исследователи, под действием астрономических факторов имеют хоть и сложную, но периодическую закономерность. Насаждения урбанизированных территорий несут в себе отражение хозяйственной деятельности, которые часто скрадывают природные циклы, что затрудняет моделирование и прогнозирование таких шкал.

На рис. 5 приведена дендрохронологическая шкала сосны. После проведения гидромелиорации в 1970 г., периодичность шкалы проявляется уже не столь ярко, а также уменьшилась амплитуда колебаний в динамике ширины годовичного кольца. Тем не менее модель имеет высокий коэффициент корреляции с реальными данными ( $r = 0,82$ ). В модель вошли 8 гармоник с периодами 19, 32, 31, 19, 16, 9, 13, 4, 46, 6 лет. Данные для удобства моделирования (рис. 5) выполнены в относительных единицах — индексах (процентах к скользящему среднему с окном 21 год).



Рис. 5. Динамика радиального прироста сосны в сосняке сфагновом (А<sub>5</sub>) под воздействием гидромелиорации с 1970 г. Моделирование выполнено гармоническим анализом, корреляция с моделью 0,82; прогноз 2019–2030 гг.

В 2019 г. общественность в г. Новополоцке обсуждала вопрос о воздействии на окружающую среду проектирующейся установки по сжиганию нефтяного кокса на Новополоцкой ТЭЦ. Однако и без того непростая экологическая обстановка вблизи промышленного узла в результате реализации проекта усугубится появлением в выбросах твердых частиц, увеличением объема выбросов оксида углерода и тяжелых металлов (особенно ванадия и никеля) [9].

Планирующиеся в 15 км к западу от города золоотвалы – земельные участки площадью порядка 50 га – должны были передаваться из земель лесного фонда. Учитывая существующую розу ветров и расположение населенных пунктов, золоотвалы являются серьезными источниками загрязнения, в первую очередь атмосферного воздуха пылевыми частицами.

Возможно также загрязнение почв тяжелыми металлами, изменение их структуры и кислотности, так как в отличие от древесной золы, зола нефтекокса не является удобрением и раскислителем. Степень изменения кислотности будет зависеть от буферности почв, во многом определяемой гранулометрическим составом (наличием коллоидных частиц). Так, глинистые и суглинистые почвы претерпят меньшие изменения, нежели песчаные. В сложившихся условиях такая характерная особенность Полоцкого района, как мелкоконтурность, повышает экологическую устойчивость окружающей среды, хотя для сельского хозяйства рассматривается скорее как недостаток. Для оценки изменений

требуется актуализация почвенной карты, в особенности карты кислотности. Существующий картографический материал с эдафическими характеристиками был выполнен в ходе лесоустройства в 1983 г., и сейчас назрела обстановка и необходимость более глубоких исследований почвенного покрова, что подтверждается исследованиями других авторов [10], а также совершенствование системы лесоустроительного проектирования на основе системы лесного кадастра, разработки автоматизированных модулей кадастровой оценки лесов на основе ГИС-технологий [11].

**Заключение.** Дендрохронологический мониторинг может служить реальным обоснованием для текущего и среднесрочного планирования лесохозяйственных мероприятий при инвентаризации лесного фонда. Согласно выполненным исследованиям и сделанным прогнозам динамики радиального прироста, в 20-е гг. текущего столетия ожидается спад прироста у сосны, особенно на верхних элементах рельефа [8], что, очевидно, будет связано с неблагоприятными климатическими условиями. Усугубить ситуацию могут повышение объемов эмиссий в регионе и проблемные ситуации с золоотвалами.

Дендрохронологический мониторинг отмечает спад радиального ежегодного прироста у деревьев хвойных пород в период наибольших выбросов. Это особенно заметно в сравнении с аналоговыми насаждениями, расположенными за пределами влияния нефтепромышленного комплекса.

### Литература

1. Рожков Л. Н. Методологические подходы к оценке содержания углерода (абсорбция / эмиссия) при различных способах рубки и возобновления леса, удаления / неудаления порубочных остатков // Труды БГТУ. 2019. Сер. 1. № 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 17–23.

2. Шиман Д. В., Юшкевич М. В., Клыш А. С. Пути увеличения адсорбции парниковых газов лесами Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1. С. 42–47.
3. Штукин С. С. О создании лесных углерододепонирующих плантаций // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1. С. 67–71.
4. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Запас депонированного углерода как организационный элемент экологизированного лесопользования // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2. С. 37–43.
5. Болботунов А. А. Полевые почвенные исследования; методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Землеустроительное проектирование», «Кадастры», «Почвоведение». Новополоцк: ПГУ, 2004. 60 с.
6. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: статистический сб. [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Режим доступа: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayusc\\_haya-sreda/ofitsialnye-publikatsii\\_17/index\\_9418/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayusc_haya-sreda/ofitsialnye-publikatsii_17/index_9418/) (дата обращения: 20.05.2019).
7. Судник А. В. Динамика состояния лесных древостоев в зоне воздействия новополоцкого НПК по данным локального мониторинга за 25-летний период // Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы V Міжнароднай навуковай канферэнцыі, Мінск, 8–12 кастр. 2018 г. Мінск: Колорград, 2018. С. 91–93.
8. Болботунов А. А., Дегтярева Е. В. Оценка развития сосновых насаждений дендроклиматическими методами // Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы V Міжнароднай навуковай канферэнцыі, Мінск, 8–12 кастр. 2018 г. Мінск: Колорград, 2018. С. 15–17.
9. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) по объекту «Строительство котлоагрегата паропроизводительностью 240 т/ч в филиале РУП «Витебскэнерго» Новополоцкая ТЭЦ» 259-ПЗ-ЭКО1. Резюме нетехнического характера ГПО «БЕЛЭНЕРГО [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.novopolotsk.by/content/view/8385/176/> (дата обращения: 31.05.2019).
10. 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 // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1. С. 5–9.
11. Толкач И. В. Основные направления развития системы лесоустройства и методов инвентаризации лесов Беларуси // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 50–53.

### References

1. Rozhkov L. N. Methodological approaches to the evaluation of the content carbon (absorption / emission) using different ways of felling and forest renewal, removal / not removal of debris. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 17–23 (In Russian).
2. Shiman D. V., Yushkevich M. V., Klysh A. S. Activities to increase carbon sequestration in the forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 42–47 (In Russian).
3. Shtukin S. S. On the creation of forest carbon depositing plantations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1: Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 67–71 (In Russian).
4. Baginskiy V. F., Lapitskaya O. V. Stock of deposited carbon as an organizational element environmental forest use. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 2, pp. 37–43 (In Russian).
5. Bolbotunov A.A. *Polevyye pochvennyye issledovaniya* [Field soil studies]. Novopolotsk, PGU Publ., 2004. 60 p.
6. *Okhrana okruzhayushchey sredy v Respublike Belarus': statisticheskiy sb.* [Environmental Protection in the Republic of Belarus: Statistical Compendium. National Statistical Committee of the Republic of Belarus]. Available at: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/ofitsialnye-publikatsii\\_17/index\\_9418/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/ofitsialnye-publikatsii_17/index_9418/) (accessed 20.05.2019).
7. Sudnik A. V. Dynamics of the state of forest stands in the impact zone of Novopolotsk NPK according to local monitoring data for a 25-year period. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira"* [Materials of the V International Scientific Conference "Monitoring and assessment of the state of the flora"]. Minsk, 2018, pp. 91–93 (In Russian).

8. Degtyareva E. V., Bolbotunov A. A. Evaluation of the development of pine plantations by dendro-climatic methods. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira"* [Materials of the V International Scientific Conference "Monitoring and assessment of the state of the flora"]. Minsk, 2018, pp. 15–17 (In Russian).

9. *Otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu (OVOS) po ob'yektu "Stroitel'stvo kotloagregata paroproizvoditel'nost'yu 240 t/ch v filiale RUP "Vitebskenergo" Novopolotskaya TETS» 259-PZ-EKOI. Rezyume netekhnicheskogo kharaktera GPO "BELENERGO"*. Available at: <http://www.novopolotsk.by/content/view/8385/176/> (accessed 31.05.2019).

10. Chervan' A. N., Romanova E. L., Andreeva V. L., Efimova I. A. Geosystem approach using for analysis of the structure of the topsoil cover in agriculture and forestry. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 5–9 (In Russian).

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

#### **Информация об авторах**

**Дегтярева Елена Владимировна** – старший преподаватель кафедры геодезии и геоинформационных систем. Полоцкий государственный университет (220440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, Республика Беларусь). E-mail: e.degtjareva@psu.by

**Болботунов Афанасий Астафьевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры геодезии и геоинформационных систем. Полоцкий государственный университет (220440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, Республика Беларусь). E-mail: dendro.psu@gmail.com

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

**Degtyareva Elena Vladimirovna** – Senior Lecturer, the Department of Geodesy and Geographic Information Systems. Polotsk State University (29, Blokhina str., 220440, Novopolotsk, Republic of Belarus). E-mail: e.degtjareva@psu.by

**Bolbotunov Afanasiy Astaf'yevich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Geodesy and Geographic Information Systems. Polotsk State University (29, Blokhina str., 220440, Novopolotsk, Republic of Belarus). E-mail: dendro.psu@gmail.com

*Поступила 04.06.2019*



УДК 581.5

**С. А. Комар**

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купрэвича НАН Беларуси

**ПРАСТОРАВА-ЧАСАВЫЯ ЗМЭНЫ САСНЯКОЎ ВЕРАСОВЫХ  
НА ТЭРЫТОРЫІ БЯРЭЗІНСКАГА БІЯСФЕРНАГА ЗАПАВЕДНІКА**

Сасняк верасовы з'яўляецца адным з трынаццаці тыпаў сасновых лясоў Беларусі. З 1960 па 2018 г. яго плошча на тэрыторыі краіны значна паменшылася. Такая тэндэнцыя скарачэння плошчаў саснякоў верасовых характэрна для ўсёй Беларусі, і ў прыватнасці для Бярэзінскага біясфернага запаведніка.

На аснове звестак матэрыялаў лесаўпарадкавання за 1961–2008 гг. былі прааналізаваны часавыя змены саснякоў верасовых на тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка, а таксама вызначаны пяць асноўных напрамкаў іх прасторавай трансфармацыі.

Праведзены аналіз паказаў, што на тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка саснякі верасовыя пераважна замяняюцца блізкімі па эдафічных і гідралагічных умовах сухадольнымі саснякамі імшыстымі і бруснічнымі.

**Ключавыя словы:** сасняк верасовы, Бярэзінскі біясферны запаведнік, прасторава-часавыя змены, трансфармацыя.

**S. A. Komar**

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus

**SPACE-TIME CHANGES OF HEATHER PINE STANDS  
ON THE TERRITORY OF THE BEREZINSKY BIOSPHERE RESERVE**

Heather pine forest is one of the thirteen types of pine forests of Belarus. Its area decreased significantly from 1960 to 2018. This tendency of reduction heather pine forests is typical for the whole Belarus and, in particular, for the Berezinsky Biosphere Reserve.

On the basis of forest inventory materials for the period 1961–2008 temporal changes in heather pine forests were analyzed on the territory of the Berezinsky Biosphere Reserve, as well as five main areas of their spatial transformation were identified.

The analysis showed that the heather pine stands principally replaced by close dry mossy and cowberry pine forests.

**Key words:** heather pine forest, Berezinsky Biosphere Reserve, space-time changes, transformation.

**Уводзіны.** Сасна звычайная (*Pinus sylvestris* L.) шырока распаўсюджана на тэрыторыі Беларусі і з'яўляецца галоўнай лесаўтваральнай пародай краіны [1]. Па звестках Дзяржаўнага ляснага кадастра, на пачатак 2018 г. сасновыя лясы займаюць больш за 4100 тыс. га, што складае прыблізна 50% ад усіх тыпаў лясных насаджэнняў рэспублікі. Сасновая фармацыя прадстаўлена 13 тыпамі лесу, сярод якіх выдзяляецца сасняк верасовы (*Pinetum callunosum*) [2]. На думку беларускіх лесатыполагаў, ён уяўляе сабой складаны шэраг як карэнных, так і вытворных супольніцтваў. Яшчэ ў 1970-х гг. сасняк верасовы быў шырокараспаўсюджаным тыпам лесу, дзе на яго долю прыпадала больш за 30% насаджэнняў сасновай фармацыі [3]. У наступныя дзесяцігоддзі назіраецца значнае скарачэнне плошчы дадзенага тыпу лесу, і ўжо ў пачатку 2018 г. на яго долю прыпадае толькі каля 4% сасновых насаджэнняў. На такое рэзкае змяншэнне плошчы саснякоў верасовых маглі паўплываць як прыродныя, так і антрапагенныя фактары.

**Асноўная частка.** Мэта правядзення даследавання – выявіць напрамкі прасторава-часавай

трансфармацыі саснякоў верасовых на тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка (ББЗ). Для аналізу напрамкаў прасторава-часавых зменаў саснякоў верасовага тыпу лесу былі выкарыстаны матэрыялы некалькіх тураў лесаўпарадкавання за перыяд 1961–2008 гг.

Тэндэнцыя скарачэння плошчы саснякоў верасовых, якая характэрна для краіны ў цэлым, назіраецца і на тэрыторыі ББЗ. Па матэрыялах лесаўпарадкавання за 1976 г., яны займалі плошчу каля 2200 га. У наступныя дзесяцігоддзі плошчы сасновых насаджэнняў верасовага тыпу лесу скараціліся амаль у 3 разы, і ў 2008 г. яны займалі ўсяго 770 га. Для аналізу напрамкаў часавых зменаў саснякоў верасовых ББЗ былі адабраны 23 кварталы з найбольшай канцэнтрацыяй дадзеных лясоў, для якіх была магчымасць прасачыць змены за ўсе туры лесаўпарадкавання. Большасць кварталаў знаходзіцца ў паўночна-заходняй частцы запаведніка на тэрыторыі Бярэзінскага і Ражнянскага лясніцтваў. За апошнія 50 гадоў плошча і размяшчэнне адабраных кварталаў засталіся нязменнымі пры правядзенні лесаўпарадкавання. Для адабраных

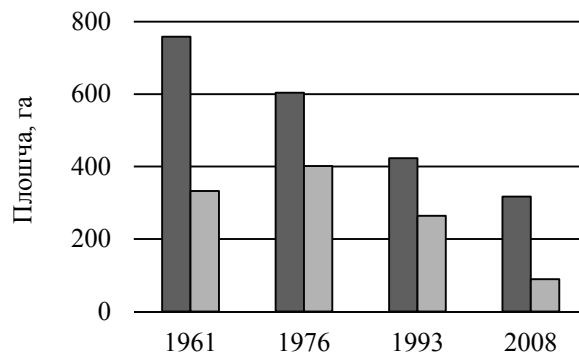
кварталаў з ўлікам матэрыялаў лесаўпарадкавання за 1961–2008 гг. былі параўнаны плошчы сасновых насаджэнняў (табліца). У 1960-я гг. плошча саснякоў складала каля 1830 га. У другой палове 1970-х гг. яна павялічылася да 1950 га і да 2008 г. заставалася практычна нязменнай.

У 1960-х гг. плошча, якую займалі саснякі, аднесеныя да верасовага тыпу лесу, у вышэйзгаданых кварталах складала каля 1100 га. У другой палове 1970-х гг. іх плошча паступова змяншаецца, а ў 2010-х гг. назіраецца яе рэзкі спад да 400 га. Аднак за 1961–2008 гг. значна павялічылася плошча саснякоў імшыстых на адабранай тэрыторыі. Па матэрыялах лесаўпарадкавання за 1961 г., іх плошча складала больш за 170 га, а ў 2008 г. – больш за 900 га.

Што датычыцца астатніх сухадольных тыпаў сасновых лясоў, іх плошча засталася малазменнай у адабраных кварталах. Трэба адзначыць, што за пяцідзясяцігадовы перыяд на тэрыторыі даследавання амаль не засталася саснякоў лішайнікавых, а плошча саснякоў бруснічных і чарнічных была практычна нязменнай да другой паловы 2010-х гг., калі яна адпаведна павялічылася да 400 і 70 га. Плошча саснякоў арляковых з 1960-х гг. застаецца пастаяннай.

Такім чынам, за пяцідзясяцігадовы перыяд на тэрыторыі адабраных кварталаў значна скарацілася плошча саснякоў верасовых, і, адпаведна, павялічылася плошча сухадольных саснякоў імшыстых і бруснічных.

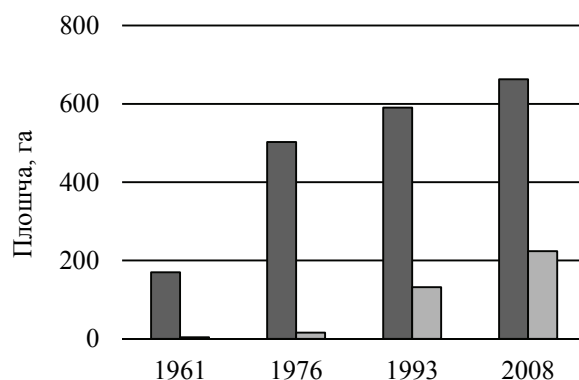
Істотна змянілася размеркаванне плошчаў саснякоў, аднесеныя да верасовага і імшыстага тыпаў лесу, па іх паходжанні (рыс. 1). У пачатку 1960-х гг. сярод саснякоў верасовых пераважвалі насаджэнні натуральнага паходжання, якія займалі плошчу больш за 750 га. У наступныя дзесяцігоддзі іх плошча скарачаецца і ў 2008 г. складае ўжо каля 320 га. На лясныя культуры саснякоў верасовых у пачатку 1960-х гг. прыпадала больш за 330 га, але ў наступныя гады іх плошча скарацілася да 90 га.



■ Натуральнае паходжанне ■ Штучнае паходжанне

Рыс. 1. Размеркаванне плошчаў саснякоў, аднесеныя да верасовага тыпу лесу, па паходжанні ў межах адабраных кварталаў

Для параўнання, плошча саснякоў імшыстых натуральнага паходжання ў пачатку 1960-х гг. складала каля 170 га (рыс. 2). У наступныя гады яна значна ўзрасла і ў 2010-х гг. дасягнула больш за 660 га. Плошча лясных культур саснякоў імшыстых была нязначнай (каля 4 га), але ў 2008 г. яна ўжо складала больш за 220 га.



■ Натуральнае паходжанне ■ Штучнае паходжанне

Рыс. 2. Размеркаванне плошчаў саснякоў, аднесеныя да імшыстага тыпу лесу, па паходжанні ў межах адабраных кварталаў

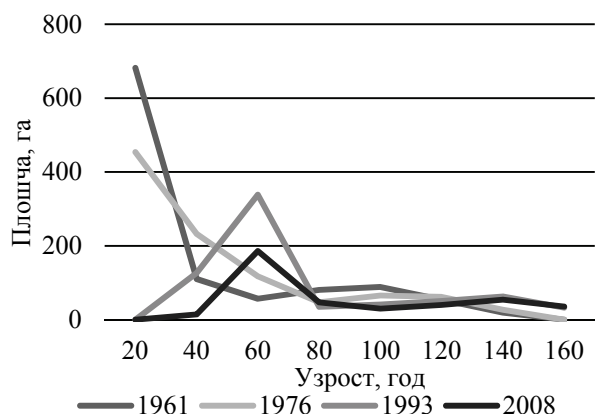
#### Плошча сасновых насаджэнняў на тэрыторыі адабраных кварталаў за перыяд 1961–2008 гг.

Тып сасновага насаджэння	Сума плошчаў па гадах, га / %							
	1961		1976		1993		2008	
С. лш.	85,8	4,7	1,3	0,1	4,9	0,3	0,9	0,1
С. вер.	1091,0	59,6	1005,2	51,3	687,2	35,2	406,4	20,8
С. бр.	243,8	13,3	194,2	9,9	259,6	13,3	380,0	19,4
С. імш.	173,6	9,5	518,3	26,5	722,5	37,0	906,7	46,4
С. ар.	13,0	0,7	9,2	0,5	5,5	0,3	10,0	0,5
С. чар.	45,2	2,5	45,4	2,3	72,3	3,7	66,1	3,4
С. дм.	66,1	3,6	55,0	2,8	59,4	3,0	67,7	3,4
С. баг.	3,1	0,2	36,0	1,8	36,0	1,9	17,1	0,9
С. ас.	0,9	0,1	7,6	0,4	23,4	1,2	41,3	2,1
С. ас-сф.	–	–	24,3	1,2	62,2	3,2	60,0	3,0
С. сф.	106,1	5,8	61,8	3,2	18,0	0,9	–	–
Усяго	1828,6	100	1958,3	100	1951,0	100	1956,2	100



Зыходзячы з гэтага, бачным, што за 1960–2010 гг. плошча саснякоў верасовых як натуральнага, так і штучнага паходжання ў межах адабраных кварталаў, значна скарацілася, а плошча сасновых насаджэнняў натуральнага і штучнага паходжання імшыстага тыпу лесу вельмі ўзрасла.

За пяцідзесяцігадовы перыяд змяніўся не толькі фітацэнэтычны воблік саснякоў верасовых, але і іх узроставае структура (рыс. 3).



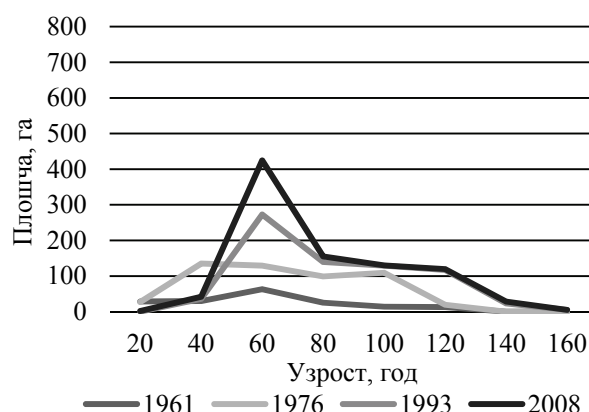
Рыс. 3. Дынаміка размеркавання плошчаў саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, па класах узросту ў межах адабраных кварталаў

У 1961 г. сярод саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, перавалодвалі маладнякі ўзрастам да 20 гадоў, якія займалі плошчу каля 700 га. На іх долю прыпадала больш за 60% саснякоў. Таксама была вялікай плошча саснякоў верасовых 2-га і 5-га класаў узросту, якая разам складала каля 200 га. Сасновыя насаджэнні верасовага тыпу лесу ўзрастам 141–160 гадоў у 1961 г. адсутнічалі. З сярэдзіны 1970-х гг. плошча маладых насаджэнняў саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, скарачаецца, і з 1990-х гг. яны ўжо адсутнічаюць. Адпаведна гэтаму павялічваецца плошча саснякоў верасовых 3-га класа ўзросту. Па матэрыялах лесаўпарадкавання за 1993 і 2008 гг., плошча саснякоў верасовых узростам 41–60 гадоў найбольшая (прыкладна 50% ад плошчы ўсіх адабраных саснякоў верасовых) і адпаведна складае каля 340 і 190 га. Таксама з 1990-х гг. павялічваецца плошча сасновых насаджэнняў верасовага тыпу лесу ўзрастам ад 121 да 160 гадоў.

Цікава разгледзець размеркаванне саснякоў імшыстых па класах узросту на адабранай тэрыторыі (рыс. 4).

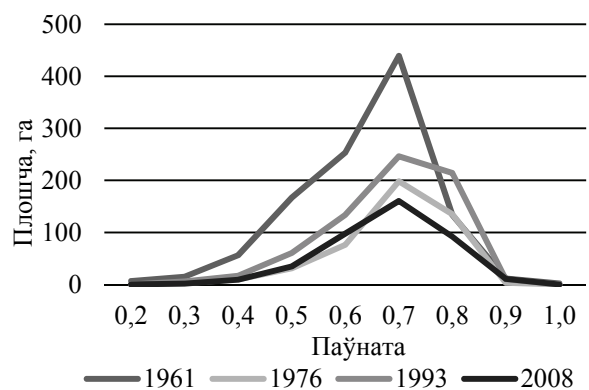
У адрозненне ад саснякоў верасовых, плошча маладых саснякоў імшыстых у пачатку 1960-х гг. была нязначнай (каля 30 га). З сярэдзіны 1970-х гг. плошча саснякоў імшыстага тыпу лесу ўзрастам 41–60 гадоў імкліва павялічваецца, і ў 2008 г. яна дасягае больш за 400 га, што складае амаль 50% ад плошчы ўсіх адабраных саснякоў імшыстых.

Такім чынам, за 1961–2008 гг. маладых насаджэнняў саснякоў верасовых узростам да 40 гадоў практычна не стала ў межах адабраных кварталаў, бо яны перайшлі ў наступныя ўзроставыя групы. Ім на змену прыйшлі сасновыя насаджэнні верасовага і імшыстага тыпаў лесу ўзрастам ад 41 да 60 гадоў. Плошча высокаўзроставых саснякоў верасовых натуральна паступова павялічваецца ў выніку пераходу да іх сярэднеўзроставых сасновых насаджэнняў.



Рыс. 4. Дынаміка размеркавання плошчаў саснякоў, аднесеных да імшыстага тыпу лесу, па класах узросту ў межах адабраных кварталаў

Паўната і банітэт саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, на тэрыторыі адабраных кварталаў адпавядаюць значэнням з лесагэаграфічных табліц І. Д. Юркевіча [3]. За 1961–2008 гг. большасць саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, мелі паўнату 0,7, якая з’яўляецца характэрнай і аптымальнай для дадзеных сасновых насаджэнняў (рыс. 5). Істотную плошчу таксама займалі саснякі верасовыя з паўнатай 0,6 і 0,8. Іншыя значэнні паўнаты, як бачна з размеркавання, для дадзенага тыпу лесу з’яўляюцца менш распаўсюджанымі. За перыяд даследавання сярэдняя паўната саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, у межах адабраных кварталаў неістотна панізілася з 0,71 да 0,68.



Рыс. 5. Дынаміка размеркавання плошчаў саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, па паўнаце ў межах адабраных кварталаў

На працягу 1960–2010 гг. у сасняках, аднесеных да верасовага тыпу лесу, сярэдні банітэт 3-га класа застаецца пастаянным. Такія паказчыкі паўнаты і банітэту з’яўляюцца характэрнай асаблівасцю фарміравання і развіцця сасновых насаджэнняў верасовага тыпу лесу.

Для вызначэння напрамкаў прасторавай трансфармацыі саснякоў верасовых на тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка былі прааналізаваны ўсе сасновыя насаджэнні верасовага тыпу лесу з улікам матэрыялаў лесаўпарадкавання за 1976–2008 гг. Зыходзячы з апрацаваных матэрыялаў, можна выдзеліць пяць асноўных напрамкаў прасторавай трансфармацыі саснякоў верасовых:

1) сасновыя насаджэнні, якія за 1976–2008 гг. заўсёды былі верасовымі;

2) у 1976 г. тэрыторыя не была занята лесам, а за 1993–2008 гг. на ёй утварыліся сасновыя насаджэнні верасовага тыпу лесу;

3) сасновыя насаджэнні, якія за 1976–1993 гг. былі верасовымі, а ў 2008 г. сталі бруснічнымі, імшыстымі, арляковымі, чарнічнымі;

4) сасновыя насаджэнні, якія ў 1976 г. былі верасовымі, а за 1993–2008 гг. сталі бруснічнымі, імшыстымі, арляковымі, чарнічнымі;

5) у 1976 г. тэрыторыя не была занята лесам, у 1993 г. сасновыя насаджэнні былі верасовымі, а ў 2008 г. сталі бруснічнымі, імшыстымі, арляковымі.

На тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка сасновыя насаджэнні, якія былі верасовымі з другой паловы 1970-х па 2010 г., у 2008 г. займалі плошчу 650 га. Саснякі верасовыя, якія сфарміраваліся на тэрыторыі, не занятай лесам у другой палове 1970-х гг., у 2008 г. займалі 90 га.

Частка саснякоў, якія ў 1976–1993 гг. былі верасовымі на плошчы каля 740 га, да 2008 г. трансфармаваліся ў саснякі імшыстыя (70%), бруснічныя (21%), арляковыя (9%).

Частка сасновыя насаджэнняў, якія ў другой палове 1970-х гг. былі верасовымі на плошчы 750 га, пачалі змяняцца ў 1980-я гг. У пачатку 1990-х гг. на месцы саснякоў верасовых з’яўляюцца саснякі імшыстыя (82%), бруснічныя (14%) і чарнічныя (4%). У сярэдзіне 2010-х гг. іх плошча неістотна змяняецца (82%, 9%, 4% адпаведна), а таксама ўзнікаюць саснякі арляковыя (5%).

Саснякі верасовыя, якія з’явіліся на былых сельскагаспадарых землях (да 1993 г.), у наступныя дзесяцігоддзі ў большасці трансфармаваліся ў саснякі імшыстыя (79%), а таксама ў саснякі бруснічныя (18%) і арляковыя (3%).

Нягледзячы на вялікі перыяд даследаванняў, у прааналізаваных матэрыялах не адзначаюцца пераходы саснякоў верасовых у лясы іншых фармацый.

**Заклучэнне.** За 1960–2010-я гг. адбыліся істотныя прасторава-часавыя змены саснякоў, аднесеных да верасовага тыпу лесу, на тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка. Плошча саснякоў верасовых у адабраных 23 кварталах рэзка скарацілася за перыяд даследавання. Адбылася іх трансфармацыя ў саснякі імшыстыя і бруснічныя. Таксама паменшыліся плошчы сасновыя насаджэнняў верасовага тыпу лесу як натуральнага, так і штучнага паходжання. Адпаведна гэтаму ўзраслі плошчы натуральных саснякоў імшыстых, а таксама іх лясных культур. Істотна перамянілася ўзроставая структура саснякоў верасовых на адабранай тэрыторыі. Калі ў пачатку 1960-х гг. перавалодалі маладнякі саснякоў верасовых, то ў сярэдзіне 2010-х гг. ужо пераважаюць сасновыя насаджэнні верасовага і імшыстага тыпаў лесу ўзростам 41–60 гадоў. На тэрыторыі адабраных кварталаў сярэднія паказчыкі паўнаты і банітэту з’яўляюцца характэрнымі і аптымальнымі для саснякоў верасовых.

У цэлым аналагічная сітуацыя складаецца і для ўсёй тэрыторыі запаведніка. У 1976 г. саснякамі верасовымі была занята плошча каля 2200 га, а ў 2008 г. яна склала толькі 770 га. Сярод іх толькі 650 га насаджэнняў з’яўляліся саснякамі верасовымі на працягу ўсіх аналізуемых дзесяцігоддзяў. Яшчэ больш за 100 га сасновыя насаджэнняў верасовага тыпу лесу ўзніклі на ранейшых нелясных землях. Сасновыя насаджэнні верасовага тыпу лесу пераважна замяняюцца блізкімі па эдафічных і гідралагічных умовах сухадольнымі саснякамі імшыстымі (76%) і бруснічнымі (15%), а таксама больш багатымі і прадукцыйнымі саснякамі арляковымі (7%) і чарнічнымі (2%).

Рэзкае скарачэнне плошчы саснякоў верасовых на тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка за перыяд даследавання можна патлумачыць наступным чынам. У пачатку 1960-х гг. саснякі, якія адносіліся да верасовага тыпу лесу, у большасці былі маладнякамі, у жывым нагледзе пакрыце якіх перавалодваў верас звычайны. Ён паспяхова засяляе адкрытыя месцы пасля высечак і пажараў. З узростам у сасняках верасовых павялічваецца самкнёнасць полага, што прыводзіць да знікнення святлалюбівага вераса з ніжніх ярусаў расліннасці. Варта адзначыць і тое, што маладыя лясныя насаджэнні маюць яшчэ не сфарміраваны фітацэнатычны воблік, па якому цяжка вызначыць іх прыналежнасць да пэўнага тыпу лесу. Менавіта таму ў сасняках, аднесеных да верасовага тыпу лесу, узростам да шасцідзесяці гадоў, калі з іх траўна-кусцікавага яруса знікае расліна-індыкатар верас звычайны, і адбываецца найбольш інтэнсіўная трансфармацыя ў іншыя тыпы са-

сновых насаджэнняў. Пераход такіх саснякоў верасовых у блізкія тыпы лесу шмат у чым звязаны як з экалагічнымі асаблівасцямі самога вераса, так і з гаспадарчай дзейнасцю чалавека, пасля якой утвараюцца адкрытыя прасторы для паспяховага засялення дадзенай расліны. Найбольш інтэнсіўны пераход саснякоў верасовых у блізкія па эдафічных і гідралагічных умовах саснякі імшыстыя і бруснічныя назіраецца ў 3-м класе ўзросту. Гэта сведчыць пра

тое, што большасць маладых насаджэнняў, якія пры лесаўпарадкаванні вызначаюцца як саснякі верасовыя, такімі не з'яўляюцца. У першую чаргу іх неабходна адносіць да ўзроставых асацыяцый саснякоў імшыстых і бруснічных, а ў пэўных выпадках і арляковых. З павелічэннем узросту сасновыя насаджэнні набываюць стабільны фітацэнатычны воблік і структуру, па якіх і неабходна вызначаць прыналежнасць насаджэнняў да таго ці іншага тыпу лесу.

### Літаратура

1. Флора Беларусі. Сосудистые растения: в 6 т. / Р. Ю. Блажевич [и др.]; под общ. ред. В. И. Парфенова; Нац. акад. наук Беларусі, Ин-т эксперимент. ботаники имени В. Ф. Купревича. Минск: Беларус. наука, 2009. Т. 1. 199 с.

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

3. О вересковых сосняках Белоруссии. В кн.: Ботаника: Исследования / И. Д. Юркевич [и др.]. Минск, 1972. Вып. 14. С. 17–36.

### References

1. Blazhevich R. YU., Dmitriyeva S. A., Parfenov V. I., Yakovleva I. M., Semerenko L. V., Tret'yakov D. I., Dubovik D. V., Skuratovich A. N., Rykovskiy G. F., Dzhus M. A., Tikhomirov Val. N., Kolesnikova M. P. *Flora Belarusi. Sosudistyye rasteniya* [Flora of Belarus. Vascular plants]. Minsk, Belarus. nauka Publ., 2009. 199 p.

2. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Allocation of forest types during forest management works]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p.

3. Yurkevich I. D., Lovchiy N. F., Golod D. S., Gel'tman V. S. *O vereskovykh sosnyakakh Belorussii* [About heather pine stands of Belarus]. Minsk, 1972, vol. 14, pp. 17–36 (In Russian).

### Інфармацыя пра аўтара

**Комар Сафія Аляксандраўна** – маладшы навуковы супрацоўнік лабараторыі прадукцыйнасці і ўстойлівасці раслінных супольнасцяў. ДНУ «Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча НАН Беларусі» (220072, г. Мінск, вул. Акадэмічная, 27, Рэспубліка Беларусь). E-mail: sofia.geits@mail.ru

### Information about the author

**Komar Safiya Alyaksandrauna** – researcher junior of the Laboratory of Productivity and Stability of Plant Communities. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (27, Akademichnaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sofia.geits@mail.ru

Пасмыніў 12.09.2019

# ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

---

УДК 630\*1

**Х. А. Бахед**

Белорусский государственный технологический университет

## **ЗАЩИТНЫЕ ФУНКЦИИ ЛЕСОВ: СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

В настоящее время разнообразие полезных функций леса приравнивается к специфическому виду общественно полезных услуг. Поскольку эти функции весьма многообразны, рассмотрим только часть из них. Сложность проблемы обусловлена многими причинами: невесомая полезность леса проявляется за пределами лесного хозяйства и эффективность ее никем не учитывается. Это ведет к тому, что до сих пор не накоплено достаточно данных, характеризующих полезность той или иной функции леса. Особая роль в системе полезности леса отводится его защитным функциям. Их содержание и структуризация рассматриваются с позиции эколого-экономической классификации природных ресурсов и систематизации экосистемных услуг, с акцентом на регулирующие услуги.

Защитные функции лесов раскрываются в контексте других полезностей: водоохранных, климаторегулирующих, санитарно-гигиенических, рекреационных. Защитные леса входят в состав лесов, выполняющих функции экосистемных услуг. В статье подробно рассматривается содержание термина «экосистемные услуги». На основе экосистемного подхода разработана структуризация защитных функций леса, приводятся различия между защитными лесами и защитными функциями лесов, что является весьма важным для дальнейшей систематизации экосистемных услуг леса и их денежной оценки.

**Ключевые слова:** защитные функции лесов, экосистемные услуги, полезности леса, структурная характеристика защитных функций.

**H. A. Bahed**

Belarusian State Technological University

## **PROTECTIVE FUNCTIONS OF FORESTS: MAINTENANCE, STRUCTURAL CHARACTERISTICS**

Currently, the diversity of useful functions of the forest is equated to a specific type of socially useful services. Since these functions are very diverse, we consider only part of them. The complexity of the problem is due to many reasons: the weightless usefulness of the forest is manifested outside the forestry and its effectiveness is not taken into account by anyone. This leads to the fact that there is still not enough data accumulating characterizing the usefulness of a particular forest function. A special role in the forest utility system is assigned to the protective functions of the forest. Their content and structuring are considered from the position of ecological and economic classification of natural resources and systematization of ecosystem services, with an emphasis on regulatory services. The protective functions of forests are revealed in the context of other usefulness of forests: water protection, climate control, sanitary-hygienic, recreational. Protective forests are part of forests that perform the functions of ecosystem services. The article discusses the content of the term ecosystem services. Based on the ecosystem approach, a structuring of the protective functions of the forest is developed, differences between protective forests and the protective functions of forests are given, which is very important for the further systematization of forest ecosystem services and their monetary value.

**Key word:** forest protective functions, ecosystem services, forest utilities, structural characteristics of protective functions.

**Введение.** Многостороннее значение леса становится все более ощутимым и к нему приковано внимание не только специалистов, но и широкой общественности и государственных органов. Этой проблеме посвящены последние

международные лесные конгрессы и симпозиумы. Влияние леса на окружающую среду и условия жизни людей многогранно, и, несмотря на длительное изучение экологии леса, многие вопросы взаимодействия его с внешней средой

и ее влияния на разные стороны жизни людей еще до конца не раскрыты.

Лес полезен многими функциям: водоохранными, климаторегулирующими, санитарно-гигиеническими, рекреационными. Одновременно он удовлетворяет потребности в древесине, пищевых продуктах, лекарственном, техническом сырье и другой разнообразной продукции; используются пастбищные, сенокосные и охотничьи угодья. Являясь одним из важнейших компонентов биосферы, леса выступают в качестве средства сохранения ее в оптимальном для жизни людей состоянии [1]. Из всего многообразия полезностей леса в данной статье делается акцент на его защитных функциях, их содержании и структурной характеристике.

**Основная часть.** Некоторые ученые высказывают мнение, что категория защитности лесов может быть наполнена экономическим содержанием и сыграть роль планово-экономического рычага в рациональном природопользовании. При этом предлагалось дополнительно установить ценностные коэффициенты в таксовой оценке леса на корню в связи с природным соответствием каждого участка той или иной категории защитности лесов [2, с. 58].

Другие авторы защитную роль лесов определяют по ущербу, нанесенному стихийными бедствиями (селями, паводками, лавинами) хозяйственным объектам, сельхозугодьям, а также по затратам на восстановление питательных веществ в поврежденных почвах [3, с. 298].

Почвозащитные функции оценивают по увеличению урожая сельскохозяйственных культур [4, с. 167].

Одна из наиболее важных защитных функций лесов связана с почвами и водными ресурсами. Леса способствуют сбережению водных ресурсов, улучшая фильтрацию, уменьшая скорость водостока и эрозию поверхности, а также сокращая заиливание (что особенно актуально в районах постройки плотин и ирригационных систем). Леса играют особую роль при фильтрации загрязняющих воду веществ, регулировании водоотдачи и водотока, сдерживании наводнений, улучшении ситуации с уровнем осадков (например, «облачные леса», которые собирают влагу из облаков) и снижении засоленности.

Согласно глобальной оценке лесных ресурсов (ОЛР. FAO) [5], показатель площади лесов с «защитой почв и водных ресурсов в качестве основной функции» относится главным образом к площади лесов, которые выведены из хозяйственного оборота для выполнения средозащитных задач почвой водосбережения – либо согласно требованиям закона, либо в силу ре-

шения, принятого землевладельцем или управляющим лицом. В таблице представлены основные характеристики лесов, предназначенных для защиты почв и вод в разрезе регионов мира.

#### Площадь лесов, предназначенных для защиты почв и вод, 2010 г.

Регион / субрегион	Наличие информации		Площадь лесов, предназначенных для защиты почв и вод	
	кол-во отчитавшихся стран	% общей площади лесов	тыс. га	% общей площади лесов
Всего по Африке	54	99,9	19 557	2,9
Всего по Азии	46	100,0	153 429	25,9
Всего по Европе	46	100,0	93 229	9,3
Карибский бассейн	12	53,8	1 430	38,3
Всего по Северной и Центральной Америке	24	99,5	3 148	0,4
Всего по Океании	21	99,8	926	0,5
Всего по Южной Америке	14	100,0	58 879	6,8
Весь мир	205	99,9	329 168	8,2

*Примечание.* Источники: ОЛР. FAO [2010].

Анализ данных на субрегиональном уровне (таблица) выявил несколько важных различий. Согласно полученной информации, наиболее велика доля защитных лесов в регионе Карибского бассейна: эти леса почти полностью расположены на Кубе (1,36 млн из 1,43 млн га). Страны Восточной Азии сообщили о 33% защитных лесов, высокая концентрация которых (60 млн из 83 млн га) приходится на Китай. Западная и Центральная Азия высокой концентрацией лесов с защитной функцией обязана в первую очередь Грузии, Туркменистану и Узбекистану. На Российскую Федерацию приходится (71 млн из 93 млн га) защитных лесов, о которых сообщили страны Европы, а в Бразилии находится большая часть защитных лесов Южной Америки (43 млн из 59 млн га). В Африке почти половина защитных лесов (8,7 млн га) расположена в Мозамбике. Кения и Судан также обладают существенными площадями защитных лесов – из общеафриканского показателя (19,6 млн га, 3,3 млн га) находятся в Кении

и 2,4 млн га – в Судане [5]. Со временем меняется площадь лесов, предназначенных для защиты почв и вод.

По данным ОЛР (FAO, 2015) [7], во всем мире почвозащитные и водоохранные функции выполняют леса на площади около 1 млрд га (25% лесов мира), в том числе 534 млн га в Северной и Южной Америке, 195 млн га в Азии и 123 млн га в Европе.

В рамках этой категории в ОЛР различаются защитные лесные насаждения, выполняющие функции по обеспечению: чистоты воды (3,4% площади мировых лесов); защиты берегов от эрозии (0,83%); борьбы с опустыниванием (3,6% площади мировых лесов, исключительно в Африке и Центральной Азии); защиты от лавин (0,36% площади мировых лесов, в том числе 14% от площади лесов в Таджикистане и 7% – в Швейцарии); защиты от эрозии и наводнений (5,1% площади мировых лесов, в том числе 30% лесов в Австрии, 28% в Швейцарии и 25% в Таджикистане); защиты от других неблагоприятных воздействий.

Защитные леса входят в состав лесов, выполняющих функции экосистемных услуг, культурных или духовных ценностей (1,2 млрд га), в том числе 642 млн га в Северной и Центральной Америке (в том числе 93% лесов в Канаде и 100% лесов в Соединенных Штатах Америки), 167 млн га в Южной Америке, 123 млн га в Океании и 122 млн га в Европе. В рамках этой категории в ОЛР различаются защитные леса, выполняющие следующие функции: рекреационную (4,3% площади мировых лесов); хранение углерода (1,3% площади мировых лесов в 1990 г и 5,3% в 2015 г); культурную (1,9%, расположены главным образом в Северной и Южной Америке); обеспечение прочих услуг.

Леса могут играть первостепенную роль в борьбе с деградацией земель посредством оказания важнейших экосистемных услуг, таких как закрепление почвы, защита от эрозии, регулирование водного режима и фиксации азота [6].

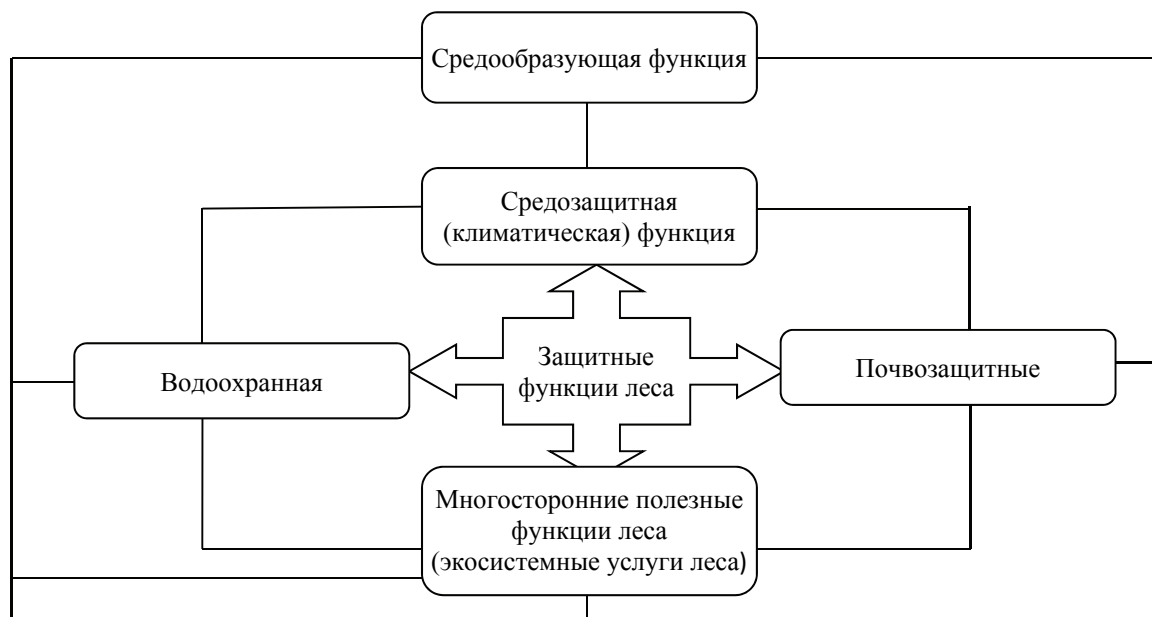
Деградация земель в наибольшей степени охватывает засушливые районы и засушливые лесные территории мира. Лесные системы на таких засушливых территориях, если не полностью уничтожены, то, как правило, истощены и фрагментированы. Запущенный таким образом процесс деградации вызвал замещение коренных типов растительности на более сухие, менее продуктивные и менее жизнестойкие типы лесов, в результате чего большое число людей столкнулось с угрозой опустынивания и сопутствующих ему катастрофических экологических, социальных и экономических послед-

ствий. Однако даже в самых безводных районах леса и деревья могут использоваться для борьбы с опустыниванием.

Особую защитную роль играет группа охраняемых территории «Биоразнообразие и сохранение», в которую включены девственные леса (1277 млн га), а также 524 млн га лесов, в первую очередь предназначенных для сохранения биоразнообразия. В этой группе выделены две основные категории защитных лесов: леса, выполняющие почвозащитные и водоохранные функции; леса, выполняющие функции по защите экосистемных услуг, культурных или духовных ценностей. За прошедшие 25 лет возросло число стран, представивших данные о лесных территориях, выполняющих почвозащитные и водоохранные функции, что отражает растущее понимание многообразия функций лесов [6]. В последнее время защитные функции лесов, как это было замечено, рассматриваются в контексте экосистемных услуг. Остановимся на данном вопросе более подробно.

Термин «экосистемные услуги» заимствован из терминологии научной дисциплины о сохранении биоразнообразия и имеет много определений, что указывает на сложность данного понятия (Danley and Widmark, 2016) [7]. Для целей настоящей статьи экосистемные услуги можно в общем виде определить как структуры и функциональные свойства экосистем, их блага и услуги, способствующие обеспечению благополучия человечества (Daily, 1997; Boyd and Banzhaf, 2007) [8]. Экосистемные услуги напрямую и косвенно связаны с благополучием человека. Их можно разделить на услуги, оказываемые лесами напрямую, и услуги, получаемые опосредованно. Прямые услуги связаны с функциями лесов и деревьев по обеспечению людей обширным спектром продукции, заготавливаемой для продовольственных, кормовых, энергетических, строительных и других нужд. Косвенные услуги в целом представляют собой биофизические экологические процессы, которые поддерживают производство продовольствия в долгосрочной перспективе, в том числе в части доступа к чистой воде и питательным веществам, а также повышают качество жизни людей. В рамках программы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (ОЭ) экосистемные услуги подразделяются на четыре группы: регулирующие, поддерживающие, обеспечивающие и культурные экосистемные услуги.

В целом исходя из вышеизложенного структуризацию защитных функций леса можно представить в виде схемы (рисунок).



Структуризация защитных функций

Как видно, защитные функции леса раскрываются в следующих функциях:

- водоохранные;
- средозащитные;
- почвозащитные.

В свою очередь, эти функции интегрируются в средообразующие функции, которые и выражают основное содержание экосистемных услуг леса (многосторонних полезностей леса).

Важно подчеркнуть, что экосистемная услуга выполняет функцию сервиса инфраструктуры. Особый интерес представляет практический аспект экосистемных услуг леса [9].

Согласно Лесному кодексу Республики Беларусь, принятому 24 дек. 2015 г., с изменениями и дополнениями, Закону Республики Беларусь 2018 г. от 18 дек. № 152-3, в состав защитных лесов входят [10]:

- леса, расположенные в границах водоохраных зон;
- леса, расположенные в границах первого и второго поясов зон санитарной охраны источников и систем питьевого водоснабжения;
- леса, расположенные в границах полос шириной 100 м в обе стороны от крайнего железнодорожного пути общего пользования, от оси республиканской автомобильной дороги.

Следует различать защитные леса и защитные функции леса. Первое понятие более широкое и охватывает не только целевые защитные функции (например, обозначенные в Лесном кодексе Республики Беларусь), но и средообразующие и средозащитные полез-

сти леса. Средозащитные полезности леса – комплекс полезностей леса, обеспечивающих сохранение природной среды конкретной территории. Средообразующая полезность леса – глобальный комплекс полезностей леса, обеспечивающих экологическое равновесие территории. Содержание защитных функций леса выражают как общие (средообразующие, средозащитные), так и специальные функции (противоохранные, почвозащитные), а в целом интегральные экологические ресурсы. Последние выражены в многосторонних полезностях леса, его экосистемных услугах, ведущей из которых является регулирующая экосистемная услуга – регулирование качества воздуха, климата, водного баланса, защиты почв.

**Заключение.** Для исследования защитных функций лесов и их важности становятся все более необходимыми сбор, анализ и представление странами информации о размерах и состоянии лесов, выполняющих защитные функции. Разделение экосистемных услуг на четыре группы (обеспечивающие, регулирующие, поддерживающие и культурные) является общепринятой классификацией. Защитные функции лесов наиболее полно проявляются в группе регулирующих экосистемных услуг. С точки зрения опыта Беларуси в структурную характеристику защитных функций лесов выделяют водоохранные и почвозащитные полезности леса с учетом других полезностей и их средозащитных (в том числе климатических) функций.

### Литература

1. Туныця Ю. Ю. Экономические проблемы комплексного использования и охраны лесных ресурсов. Львов: Высш. шк., 1976. 215 с.



2. Воронин И. В., Сенкевич А. Л., Бугаев В. А. Экономическая эффективность в лесохозяйственном и агролесомелиоративном производствах. М.: Лесная пром-сть, 1975. 58 с.
3. Спиридонов Б. С., Морева Л. С., Шараева О. А. Эколого-экономическая роль леса. Новосибирск: Наука, 1986. 127 с.
4. Ажибеков К. И. Экономическая эффективность защитных насаждений в поясе арчевых лесов Киргизии // Защитное лесоразведение и рациональное использование земельных ресурсов в горах: тез. докл. Ташкент: МСХ УзССР, 1979. С. 298–301.
5. Глобальная оценка лесных ресурсов 2010 [Электронный ресурс]. URL: [www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/](http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/) (дата обращения: 10.09.2019).
6. Глобальная оценка лесных ресурсов 2015. Как меняются леса мира? [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4793r.pdf> (дата обращения: 10.09.2019).
7. Daily G. C. Introduction: What Are Ecosystem Services? // *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington DC: Island Press, 1997. P. 1–10.
8. Danley B., Widmark C. Evaluating conceptual definitions of ecosystem services and their implications // *Ecol. Econ.* 2016. Vol. 126, issue C. P. 132–138.
9. Неверов А. В. Лесное управление: учеб. пособие. Минск: Пачатк. шк., 2014. 399 с.
10. Лесной кодекс Республики Беларусь: принят Палатой представителей 24 дек. 2015 г.: одобр. Советом Респ. 9 дек. 2015 г., с изм. и доп. Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2016. 113 с.

### References

1. Tunytsya Yu. Yu. *Ekonomicheskiye problemy kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany lesnykh resursov* [Economic problems of integrated use and protection of forest resources]. Lviv, Vysshaya shkola Publ., 1976. 215 p.
2. Voronin I. V., Senkevich A. L., Bugayev V. A. *Ekonomicheskaya effektivnost' v lesokhozyaystvennom i agrolesomeliyativnom proizvodstvakh* [Economic efficiency in forestry and agro forest reclamation production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1975. 58 p.
3. Spiridovov B. S., Moreva L. S., Sharayeva O. A. *Ekologo-ekonomicheskaya rol' lesa* [The economic role of forests]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 127 p.
4. Azhibekov K. I. [Economic efficiency of protective plantings in the belt of juniper forests of Kyrgyzstan]. *Tezisy dokladov ("Zashchitnoye lesorazvedeniye i ratsional'noye ispol'zovaniye zemel'nykh resursov v gorakh")* [Abstract of thesis ("Protective afforestation and rational use of land resources in the mountains")]. Tashkent, 1979, pp. 298–301 (In Russian).
5. *Global'naya otsenka lesnykh resursov 2010* [Global Forest Resource Assessment 2010]. Available at: [www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/](http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/) (accessed 10.09.2019).
6. *Global'naya otsenka lesnykh resursov 2015. Kak menyayutsya lesa mira?* [Global Forest Resource Assessment 2015. How are the forests of the world changing?]. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4793r.pdf> (accessed 10.09.2019).
7. Daily G. C. Introduction: What Are Ecosystem Services? *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington DC, Island Press, 1997, pp. 1–10.
8. Danley B., Widmark C. Evaluating conceptual definitions of ecosystem services and their implications. *Ecol. Econ.*, 2016, vol. 126, issue C, pp. 132–138.
9. Neverov A. V. *Lesnoye upravleniye* [Forest management]. Minsk, Pachatkovaya shkola Publ., 2014. 399 p.
10. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Code of the Republic of Belarus]. Minsk, Natsional'nyy tsentr pravovoy informatsii Respubliki Belarus' Publ., 2016. 113 p.

### Информация об авторе

**Бахед Хайдар Азиз** – аспирант кафедры менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [bahtdh55@gmail.com](mailto:bahtdh55@gmail.com)

### Information about the author

**Bathed Haydar Aziz** – PhD student, the Department of Management, Business Technology and Sustainable Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [bahtdh55@gmail.com](mailto:bahtdh55@gmail.com)

Поступила 15.09.2019



УДК 630.174:630\*524

**К. В. Лабоха<sup>1</sup>, А. О. Луферов<sup>1</sup>, А. Н. Карась<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>РУП “Белгослес”**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ БЕЛАРУСИ**

В статье приводятся статистические данные по сосновым насаждениям Республики Беларусь (рассматривались основные показатели в разрезе геоботанического районирования на уровне подзон и округов). Использовались актуальные лесоустроительные базы данных и государственные лесные кадастры. Приводятся средние таксационные показатели, распределение по группам возраста, категориям лесов, соотношение чистых и смешанных насаждений, распределение по типам леса, типам лесорастительных условий, бонитетам, полнотам, а также характеристика подроста под пологом приспевающих, спелых и перестойных насаждений. Для геоботанической подзоны дубово-темнохвойных лесов (Западно-Двинский, Ошмянно-Минский, Оршанско-Могилевский геоботанические округа) анализируются материалы по 50 лесохозяйственным учреждениям, для подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (Неманско-Предполесский, Березинско-Предполесский геоботанические округа) – по 32 лесохозяйственным учреждениям, для подзоны широколиственно-сосновых лесов (Бугско-Предполесский, Полесско-Приднепровский геоботанические округа) – по 32 лесохозяйственным учреждениям. Динамика сосновых насаждений приводится в сравнении с данными 1978 и 2009 гг. Средний возраст сосняков составляет 64 года; средняя полнота – 0,73; средний запас покрытых лесом земель – 243 м<sup>3</sup>/га, спелых и перестойных насаждений – 287 м<sup>3</sup>/га; среднее изменение запаса на 1 га покрытых лесом земель – 3,8 м<sup>3</sup>; преобладающий тип леса – мшистый (40,9%).

**Ключевые слова:** сосна, таксационные показатели, динамика, геоботаническое районирование.

**K. V. Labokha<sup>1</sup>, A. O. Lufarov<sup>1</sup>, A. N. Karas<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>RUE “Belgosles”**CURRENT STATE OF THE PINE FORESTS OF BELARUS**

The article presents the statistical data on pine forest stands of the Republic of Belarus on the main indicators in the context of geobotanical zoning at the level of geobotanical subzones and districts. Actual forest inventory databases and state forest cadasters were used. The average taxation indicators, distribution by age groups, forest categories, the ratio of pure and mixed stands, distribution by forest types, types of forest conditions, bonitet classes, stand densities, as well as the characteristics of undergrowth under the canopy of pre-mature, mature and over-mature stands are given. For the geobotanical subzone of the Oak-Dark coniferous forests (Zapadno-Dvinsky, Oshmyano-Minsk, Orsha-Mogilev geobotanical districts), materials from 50 forest enterprises are analyzed, for the subzone of the Hornbeam-Oak-Dark coniferous forests (Nemansko-Predpolessky, Berezinsko-Predpolessky geobotanical districts) – for 32 forest enterprises, for the subzone of the Broad-leaved-Pine forests (Bugsko-Predpolessky, Polessko-Pridneprovsky geobotanical districts) – for 32 forest enterprises. The dynamics of pine stands is given in comparison with the data of 1978 and 2009. The average age of the pine forests is 64 years; average stand density – 0.73; the average stock of forest covered lands – 243 m<sup>3</sup>/ha, of mature and over-mature stands – 287 m<sup>3</sup>/ha; the average change in stock per 1 ha of forest covered lands – 3.8 m<sup>3</sup>; the predominant forest type is mossy pine forest (40.9%).

**Key words:** pine, taxation indicators, dynamics, geobotanical zoning.

**Введение.** Сосна обыкновенная (*Pinus Sylvestris*) – важная и главная лесообразующая древесная порода Беларуси (49,7% лесопокрытой площади) [1]. В последние годы в связи с массовым усыханием хвойных и, в частности, сосновых насаждений в Беларуси и других странах [2–6] особый интерес вызывает анализ текущего распределения сосняков по основным показателям, а актуальные данные по лесхозам, к примеру, подзоны широколиственно-сосновых лесов (Гомельское и Брест-

ское ПЛХО) получить затруднительно. Кроме того, объективно оценить динамику и распределение сосновых древостоев довольно затруднительно, особенно в подзоне широколиственно-сосновых лесов, в которой отмечены наибольшие объемы усыхания.

Изучением распределения и динамики сосновых насаждений по основным показателям в разрезе геоботанического районирования Беларуси [7] занимался ряд ученых. Было выявлено достоверное процентное участие доли сосны в

лесокрытой площади страны [8, 9]. К. В. Лабоха и коллеги подробно исследовали динамику площадей, классов возраста, классов бонитета, полнот, типов леса и других показателей с учетом геоботанического районирования за 1978 г. [10] и 2009 г. в публикации [11], данные из которой для выявления динамики по ряду показателей будут использованы в настоящем исследовании. После приведенных данных 2009 г. [11] подробный анализ динамики и распределения сосняков в открытых источниках отсутствует.

В целом систематизация, сбор статистических данных и выявление динамики состояния хвойных насаждений имеет место во многих странах. Так, одно японское исследование выявило 17 формаций естественных и искусственно созданных сосновых лесов в Восточной Азии [12]. На юге США исследовалась история и современное состояние (на 2012 г.) насаждений длиннохвойной сосны (*Pinus Longifolia*): приводятся подробные данные по лесопокрытой площади, распределению по типам леса, классам возраста и прочим показателям [13]. В Испании активно используются данные лесоинвентаризации для определения структуры лесов, особенно в горных регионах [14].

**Основная часть.** Для анализа распределения и динамики сосновых лесов в разрезе геоботанических подзон применялись актуальные лесоустроительные базы данных (на 01.01.2019 г.) по 115 лесохозяйственным учреждениям (далее – лесхозам) Беларуси, включая объекты Министерства обороны (2 объекта), Министерства образования (2 объекта), НАН Беларуси (3 объекта), природоохранные учреждения Управления делами Президента Республики Беларусь (7 объектов), Мингорисполкома (1 объект). Для геоботаниче-

ской подзоны дубово-темнохвойных лесов (Западно-Двинский, Ошмяно-Минский, Оршанско-Могилевский геоботанические округа) анализируются материалы по 50 лесхозам, для подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (Неманско-Предполесский, Березинско-Предполесский геоботанические округа) – по 32 лесхозам, для подзоны широколиственно-сосновых лесов (Бугско-Предполесский, Полесско-Приднепровский геоботанические округа) – по 32 лесхозам. Учитывается, что некоторые лесхозы могут находиться в нескольких подзонах или округах (к примеру, ГЛХУ «Ивацевичский военный лесхоз», ГОЛХУ «Буда-Кошелевский опытный лесхоз»). Следует отметить, что базовое лесоустройство в соответствии с Лесным кодексом [15] проведено не во всех объектах, этот фактор также был учтен при анализе распределения сосняков по категориям лесов.

Актуальные материалы для анализа распределения сосняков по средним таксационным показателям, полнотам, бонитетам, типам леса, типам лесорастительных условий (далее – ТЛУ), категориям лесов, распределению на чистые и смешанные насаждения, а также характеристике подростов под пологом приспевающих, спелых и перестойных насаждений были собраны для обработки в среде *MS Excel*.

В табл. 1 приводится динамика площадей сосняков Беларуси на основании сравнения с данными 1978 [10] и 2009 гг. [11]. В некоторых из последующих приводящихся таблиц данные за 1978 и 2009 гг. даются с подразделением на суходольные и болотные сосняки, при современном лесоустройстве подобное подразделение не практикуется, поэтому данные за 2019 г. приводятся для всех насаждений.

Таблица 1

Динамика площади сосняков на территории Беларуси

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Площадь сосновых насаждений, тыс. га			Доля от лесопокрытой площади, %		
	1978	2009	2019	1978	2009	2019
<i>I. Дубово-темнохвойные леса</i>	1132,5	1494,5	1514,4	51,7	41,5	42,3
1. Западно-Двинский	314,2	416,7	402,4	42,2	29,4	27,8
2. Ошмяно-Минский	459,0	561,1	614,4	60,2	51,4	55,9
3. Оршанско-Могилевский	358,9	516,7	497,6	52,6	47,2	45,2
<i>II. Грабово-дубово-темнохвойные леса</i>	1036,2	1403,2	1265,1	62,9	58,2	45,4
4. Неманско-Предполесский	624,6	816,9	710,7	65,3	60,2	52,3
5. Березинско-Предполесский	411,6	586,3	554,4	59,6	55,5	52,3
<i>III. Широколиственно-сосновые леса</i>	1023,8	1432,2	1326,1	60,2	55,9	52,4
6. Бугско-Предполесский	281,5	446,9	432,3	53,8	52,6	50,8
7. Полесско-Приднепровский	742,2	985,3	893,8	63,0	57,6	52,3
<i>Итого</i>	<b>3192,5</b>	<b>4329,9</b>	<b>4105,6</b>	<b>57,6</b>	<b>50,5</b>	<b>49,7</b>

Общая площадь сосняков снизилась по сравнению с 2009 г. на 5,2% (224,3 тыс. га). Наибольшее уменьшение площади произошло по подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов (на 9,8%) в связи с переходом сосняков в более сложные смешанные темнохвойные

насаждения; в подзоне широколиственно-сосновых лесов снижение площади произошло на 7,4%, что напрямую связано с проведением сплошных санитарных рубок в очагах короедного усыхания. В табл. 2 приведена динамика сосняков по группам возраста.

Таблица 2

## Динамика сосняков по группам возраста

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Год учета	Площадь сосняков по группам возраста, %				средний возраст, лет
		молод- няки	средневоз- растные	приспевающие	спелые и перестойные	
I. Дубово-темнохвой- ные леса	1978 (по суходолу)	58,4	20,7	15,7	5,2	38
	1978 (по болоту)	23,1	32,4	25,4	19,1	58
	2009	19,7	52,2	21,9	6,2	51
	2019	15,9	38,8	30,0	15,3	66
1. Западно-Двинский	1978 (по суходолу)	46,4	27,8	19,7	6,1	44
	1978 (по болоту)	19,9	34,1	28,2	17,8	59
	2009	17,5	47,6	25,2	9,7	54
	2019	16,7	33,2	30,6	19,5	68
2. Ошмянно-Минский	1978 (по суходолу)	62,6	20,4	12,6	4,4	36
	1978 (по болоту)	22,4	26,4	23,7	27,5	62
	2009	19,4	59,1	17,5	4,0	50
	2019	13,9	43,5	29,5	13,1	67
3. Оршанско-Могилев- ский	1978 (по суходолу)	63,8	15,7	16,7	3,8	37
	1978 (по болоту)	30,3	37,6	22,0	10,1	51
	2009	22,0	48,0	24,1	5,9	51
	2019	18,5	36,7	30,1	14,7	63
II. Грабово-дубово-тем- нохвойные леса	1978 (по суходолу)	67,4	17,9	10,2	4,5	35
	1978 (по болоту)	30,4	27,5	23,0	19,1	55
	2009	23,0	53,8	17,3	5,9	50
	2019	15,9	43,7	28,2	12,2	64
4. Неманско-Предпо- лесский	1978 (по суходолу)	69,0	17,8	7,8	5,4	34
	1978 (по болоту)	31,7	28,5	21,2	18,6	54
	2009	22,0	58,5	14,0	5,5	50
	2019	13,0	50,2	26,2	10,6	65
5. Березинско-Предпо- лесский	1978 (по суходолу)	64,8	18,2	13,6	3,4	36
	1978 (по болоту)	30,0	27,1	23,7	19,2	56
	2009	24,5	47,0	22,1	6,4	50
	2019	19,5	35,5	30,8	14,2	64
III. Широколиственно- сосновые леса	1978 (по суходолу)	62,9	19,2	13,0	4,9	36
	1978 (по болоту)	38,9	32,6	19,8	8,7	48
	2009	28,2	46,7	19,6	5,5	50
	2019	20,9	39,8	27,3	12,0	61
6. Бугско-Предполес- ский	1978 (по суходолу)	64,9	20,5	10,4	4,2	34
	1978 (по болоту)	47,7	26,4	18,2	7,7	45
	2009	33,7	47,7	15,7	2,9	46
	2019	18,5	45,2	27,8	8,5	59
7. Полесско-Приднепро- вский	1978 (по суходолу)	62,2	18,7	14,0	5,1	37
	1978 (по болоту)	34,5	35,6	20,6	9,3	49
	2009	25,7	46,3	21,5	6,5	50
	2019	22,1	37,1	27,0	13,8	61
Итого	1978 (по суходолу)	63,1	19,3	12,9	4,7	36
	1978 (по болоту)	28,3	31,4	23,6	20,7	55
	2009	23,5	50,9	19,6	6,0	50
	2019	17,6	40,7	28,5	13,2	64

Преобладают средневозрастные сосняки (40,7%). За последние 10 лет возрастная структура несколько изменилась, значительно увеличились объемы приспевающих и спелых насаждений.

Средний возраст сосняков составляет 64 года, наиболее высоковозрастными насаждениями характеризуется Западно-Двинский геоботаниче-

ский округ (средний возраст – 68 лет), наиболее молодые насаждения – в Бугско-Предполесском округе (средний возраст – 59 лет) подзоны широколиственно-сосновых лесов (средний возраст по геоботанической подзоне – 61 год).

В табл. 3 приводится динамика распределения сосновых насаждений в разрезе геоботанических подзон и округов по классам бонитета.

Таблица 3

## Динамика распределения сосняков по классам бонитета

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Год учета	Площадь сосняков по классам бонитета, %									Средний бонитет
		Iб	Iа	I	II	III	IV	V	Vа	Vб	
I. Дубово-темнохвойные леса	1978 (по суходолу)	0,1	3,0	22,3	51,9	22,0	0,7	0,1	0,1	0,1	I,9
	1978 (по болоту)	–	–	–	0,1	1,6	28,6	27,1	31,3	11,3	IV,2
	2009 (по суходолу)	0,1	11,1	50,3	31,9	6,5	0,1	–	–	–	I,3
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	27,9	21,8	39,1	11,2	IV,3
	2019	0,1	12,6	49,1	21,4	4,0	3,8	2,8	5,1	1,1	I,8
1. Западно-Двинский	1978 (по суходолу)	0,1	2,5	25,5	48,8	22,2	0,7	0,1	0,1	0,1	I,9
	1978 (по болоту)	–	–	–	0,1	28,5	30,2	28,9	28,4	9,0	V,5
	2009 (по суходолу)	–	5,7	46,2	37,7	10,3	0,1	–	–	–	I,5
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	31,3	22,9	37,8	8,0	IV,5
	2019	0,1	5,3	41,3	23,9	6,6	7,4	5,0	8,4	2,0	II,2
2. Ошмяно-Минский	1978 (по суходолу)	0,1	1,3	19,4	53,5	24,8	0,9	0,1	0,1	0,1	II,1
	1978 (по болоту)	–	–	–	–	0,1	25,2	25,5	34,7	14,5	IV,1
	2009 (по суходолу)	0,1	10,4	54,1	30,0	5,3	0,1	–	–	–	I,3
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	27,8	21,0	40,5	10,6	IV,4
	2019	0,1	13,2	53,8	19,9	2,9	2,5	2,0	4,5	1,1	I,6
3. Оршанско-Могилевский	1978 (по суходолу)	0,1	5,5	23,4	52,1	18,4	0,4	0,1	–	–	I,8
	1978 (по болоту)	–	–	–	–	0,2	39,3	25,5	32,5	11,5	IV,8
	2009 (по суходолу)	0,1	16,0	48,9	29,8	5,1	0,1	–	–	–	I,2
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	21,5	20,4	39,9	18,2	IV,0
	2019	0,1	19,6	50,0	20,9	2,8	1,9	1,7	2,6	0,4	I,5
II. Грабово-дубово-темнохвойные леса	1978 (по суходолу)	0,1	2,4	21,3	50,4	22,3	2,8	0,4	0,2	0,1	II,0
	1978 (по болоту)	–	–	0,1	0,1	0,1	35,6	24,5	30,8	9,0	IV,3
	2009 (по суходолу)	–	8,3	50,5	36,0	4,9	0,3	–	–	–	I,4
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	0,9	33,5	25,7	31,7	8,2	IV,4
	2019	0,1	14,7	56,7	22,0	2,6	1,5	0,9	1,3	0,2	I,5
4. Неманско-Предполесский	1978 (по суходолу)	0,1	2,4	22,6	50,4	21,4	2,5	0,4	0,2	–	II,0
	1978 (по болоту)	–	–	0,1	0,1	0,1	49,8	28,9	18,4	2,7	IV,5
	2009 (по суходолу)	–	10,3	53,0	32,3	4,1	0,3	–	–	–	I,3
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	46,2	24,7	24,7	4,4	IV,5
	2019	0,1	18,4	59,5	18,4	2,0	0,8	0,4	0,3	0,1	I,2
5. Березинско-Предполесский	1978 (по суходолу)	0,1	2,4	19,2	50,6	23,8	3,0	0,6	0,2	0,1	II,1
	1978 (по болоту)	–	–	–	–	–	30,1	22,8	35,6	11,5	IV,3
	2009 (по суходолу)	–	5,2	46,7	41,6	6,0	0,5	–	–	–	I,5
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	1,3	28,4	26,1	34,5	9,6	IV,4
	2019	0,1	9,9	53,2	26,7	3,3	2,3	1,6	2,5	0,4	I,7
III. Широколиственно-сосновые леса	1978 (по суходолу)	0,1	1,1	18,3	50,4	25,1	4,4	0,5	0,1	0,1	II,2
	1978 (по болоту)	–	–	–	–	0,1	42,1	24,3	26,0	7,5	IV,3
	2009 (по суходолу)	–	3,7	37,9	46,2	10,2	1,7	0,3	–	–	I,7
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	32,9	24,3	40,3	2,5	IV,9
	2019	0,1	4,7	48,7	34,2	5,4	3,2	1,5	2,1	0,1	I,7

Окончание табл. 3

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Год учета	Площадь сосняков по классам бонитета, %									Средний бонитет
		Iб	Ia	I	II	III	IV	V	Va	Vб	
6. Бугско-Предполесский	1978 (по суходолу)	0,1	0,3	14,6	54,7	26,5	3,3	0,5	–	–	II,2
	1978 (по болоту)	–	–	–	–	0,1	45,3	21,1	28,1	5,4	IV,5
	2009 (по суходолу)	–	1,2	31,2	53,7	11,9	1,7	0,4	–	–	I,8
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	30,1	22,4	45,3	2,2	V,0
	2019	–	4,0	52,3	32,3	4,7	3,0	1,4	2,2	0,1	1,7
7. Полесско-Приднепровский	1978 (по суходолу)	0,1	1,4	19,6	48,8	24,6	4,8	0,6	0,1	0,1	II,1
	1978 (по болоту)	–	–	–	–	–	40,6	25,9	25,0	8,6	IV,3
	2009 (по суходолу)	–	4,9	41,0	42,8	9,3	1,7	0,3	–	–	1,6
	2009 (по болоту)	–	–	–	–	–	35,0	25,8	36,5	2,7	IV,8
	2019	0,1	5,2	46,8	35,2	5,8	3,4	1,5	1,9	0,1	1,7
<i>Итого</i>	<b>1978 (по суходолу)</b>	<b>0,1</b>	<b>2,2</b>	<b>20,6</b>	<b>50,8</b>	<b>23,2</b>	<b>2,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>II,0</b>
	<b>1978 (по болоту)</b>	–	–	–	–	<b>0,9</b>	<b>33,2</b>	<b>25,9</b>	<b>30,0</b>	<b>10,0</b>	<b>IV,3</b>
	<b>2009 (по суходолу)</b>	–	<b>7,7</b>	<b>46,3</b>	<b>38,0</b>	<b>7,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>	–	–	<b>I,5</b>
	<b>2009 (по болоту)</b>	–	–	–	–	<b>0,2</b>	<b>30,2</b>	<b>23,1</b>	<b>38,1</b>	<b>8,4</b>	<b>IV,5</b>
	<b>2019</b>	<b>0,1</b>	<b>10,7</b>	<b>51,4</b>	<b>25,8</b>	<b>4,0</b>	<b>2,9</b>	<b>1,7</b>	<b>2,9</b>	<b>0,5</b>	<b>1,7</b>

Средний класс бонитета сосновых насаждений по стране составляет I,7, преобладают насаждения I класса бонитета (51,4%).

Наиболее высокопродуктивными сосняками характеризуется Неманско-Предполесский геоботанический округ (средний класс бонитета составляет I,2). Наименее продуктивные сосновые насаждения произрастают на территории Западно-Двинского округа (средний класс бонитета составляет II,2).

В целом фактическая продуктивность сосняков за последние 10 лет улучшилась (на 8,1% увеличилась площадь насаждений I и Ia классов бонитета).

Средний класс бонитета уменьшается с севера на юг страны в разрезе геоботанического районирования.

В табл. 4 приводится динамика распределения сосновых насаждений по полнотам.

Преобладают сосновые насаждения с полнотой 0,7, доля которых составляет 45,5% (в некоторой степени это может быть связано с особенностями натурной таксации насаждений из фонда проведения рубок прореживания и проходных рубок, так как это значение показателя полноты древостоя во многих случаях является переходным и решающим при назначении рубок ухода).

Таблица 4

Динамика распределения сосняков по полнотам

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Год учета	Площадь сосняков по полнотам, %								Средняя полнота
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
1. Дубово-темнохвойные леса	1978 (по суходолу)	0,5	1,9	6,0	17,8	37,7	24,3	9,4	2,4	0,71
	1978 (по болоту)	1,2	8,4	20,0	31,9	30,9	6,6	0,8	0,2	0,61
	2009 (по суходолу)	0,2	0,7	4,0	18,8	48,7	18,8	6,4	2,5	0,71
	2009 (по болоту)	0,5	4,8	15,5	33,7	35,2	9,1	1,1	0,1	0,63
	2019	0,2	1,0	4,2	14,5	47,4	21,1	7,4	4,2	0,71
1. Западно-Двинский	1978 (по суходолу)	0,5	2,3	7,6	23,2	41,5	18,4	5,2	1,3	0,69
	1978 (по болоту)	1,8	9,9	22,5	33,7	26,3	5,1	0,5	0,2	0,59
	2009 (по суходолу)	0,2	1,0	4,7	22,0	49,6	15,5	4,8	2,1	0,70
	2009 (по болоту)	0,2	4,9	14,9	34,1	36,2	8,2	1,0	0,1	0,63
	2019	0,2	1,5	5,8	19,0	49,6	16,9	4,7	2,3	0,70
2. Ошмяно-Минский	1978 (по суходолу)	0,5	1,8	5,2	15,4	38,1	26,5	9,8	2,7	0,72
	1978 (по болоту)	0,8	5,7	16,3	30,0	39,1	7,6	0,4	0,1	0,63
	2009 (по суходолу)	0,1	0,5	3,8	16,6	48,9	19,9	7,7	2,4	0,72
	2009 (по болоту)	0,2	4,2	15,1	31,3	37,6	10,0	1,5	–	0,64
	2019	0,1	0,8	3,7	12,8	47,9	21,7	8,3	4,7	0,72

Окончание табл. 4

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Год учета	Площадь сосняков по полнотам, %								Средняя полнота
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
3. Оршанско-Могилевский	1978 (по суходолу)	0,4	1,9	5,7	16,9	34,3	26,0	11,8	3,0	0,72
	1978 (по болоту)	0,5	9,0	20,2	31,3	28,4	8,5	1,7	0,4	0,61
	2009 (по суходолу)	0,1	0,7	3,9	18,9	47,8	19,9	5,9	2,8	0,71
	2009 (по болоту)	0,9	5,3	17,1	35,7	30,6	9,5	0,7	0,2	0,62
	2019	0,1	0,7	3,1	12,4	44,3	24,9	9,1	5,4	0,71
II. Грабово-дубово-темнохвойные леса	1978 (по суходолу)	0,5	1,8	5,4	16,7	35,4	24,4	11,7	4,1	0,73
	1978 (по болоту)	0,4	4,2	16,4	33,0	34,4	9,9	1,4	0,3	0,63
	2009 (по суходолу)	0,5	1,4	10,3	25,0	43,8	15,2	2,7	0,9	0,67
	2009 (по болоту)	0,3	0,8	3,8	16,3	46,2	21,4	8,2	3,1	0,72
	2019	0,3	0,7	2,7	11,5	45,7	24,7	10,0	4,4	0,74
4. Неманско-Предполесский	1978 (по суходолу)	0,5	1,6	5,0	16,6	35,1	24,6	11,8	4,8	0,73
	1978 (по болоту)	0,4	2,8	14,5	31,1	39,2	10,3	1,4	0,3	0,64
	2009 (по суходолу)	0,3	0,6	3,3	15,6	46,2	22,4	8,8	2,7	0,72
	2009 (по болоту)	0,6	1,3	10,1	24,7	47,5	13,9	1,9	–	0,67
	2019	0,5	0,7	2,4	11,1	47,5	24,9	9,6	3,3	0,72
5. Березинско-Предполесский	1978 (по суходолу)	0,5	2,2	6,0	16,6	35,8	24,0	11,8	3,1	0,72
	1978 (по болоту)	0,4	4,7	17,1	33,7	32,6	9,8	1,4	0,3	0,63
	2009 (по суходолу)	0,1	0,9	3,9	16,4	46,4	20,5	7,7	3,9	0,72
	2009 (по болоту)	0,5	1,5	10,4	25,1	42,4	15,7	3,0	1,3	0,67
	2019	0,1	0,7	2,9	12,1	43,5	24,4	10,4	5,8	0,76
III. Широколиственно-сосновые леса	1978 (по суходолу)	0,6	2,2	6,6	18,6	35,4	23,6	10,0	3,0	0,71
	1978 (по болоту)	0,5	6,1	14,0	27,5	31,9	16,2	3,1	0,7	0,65
	2009 (по суходолу)	0,2	1,1	5,5	19,2	44,0	20,1	7,3	2,8	0,71
	2009 (по болоту)	0,7	7,5	19,7	29,4	28,2	11,8	2,1	0,5	0,62
	2019	0,2	1,2	4,7	14,2	43,1	23,1	9,1	4,4	0,72
6. Бугско- Предполесский	1978 (по суходолу)	0,5	1,6	5,4	17,6	36,4	23,9	10,4	4,2	0,72
	1978 (по болоту)	0,8	9,1	19,4	28,4	26,7	14,2	1,2	0,2	0,62
	2009 (по суходолу)	0,2	0,9	5,8	20,0	45,1	19,2	6,8	2,0	0,70
	2009 (по болоту)	1,1	9,1	26,0	32,6	21,8	7,7	1,4	0,3	0,60
	2019	0,3	1,0	4,0	13,1	46,8	22,7	8,6	3,5	0,71
7. Полесско-Приднепровский	1978 (по суходолу)	0,7	2,4	7,0	19,0	35,0	23,5	9,8	2,6	0,71
	1978 (по болоту)	0,3	4,6	11,3	27,1	34,5	17,3	4,0	0,9	0,66
	2009 (по суходолу)	0,2	1,2	5,3	18,8	43,5	20,5	7,5	3,1	0,71
	2009 (по болоту)	0,4	6,3	14,9	27,0	33,1	14,9	2,7	0,6	0,64
	2019	0,1	1,4	5,0	14,8	41,2	23,2	9,4	4,9	0,73
<i>Итого</i>	<b>1978 (по суходолу)</b>	<b>0,5</b>	<b>2,0</b>	<b>6,0</b>	<b>17,8</b>	<b>36,1</b>	<b>24,1</b>	<b>10,3</b>	<b>3,2</b>	<b>0,72</b>
	<b>1978 (по болоту)</b>	<b>0,9</b>	<b>7,0</b>	<b>17,9</b>	<b>31,1</b>	<b>31,9</b>	<b>9,5</b>	<b>1,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,62</b>
	<b>2009 (по суходолу)</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>4,3</b>	<b>17,9</b>	<b>46,3</b>	<b>20,2</b>	<b>7,4</b>	<b>2,8</b>	<b>0,71</b>
	<b>2009 (по болоту)</b>	<b>0,6</b>	<b>4,9</b>	<b>15,7</b>	<b>31,1</b>	<b>34,9</b>	<b>10,8</b>	<b>1,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,63</b>
	<b>2019</b>	<b>0,2</b>	<b>1,0</b>	<b>3,9</b>	<b>13,4</b>	<b>45,5</b>	<b>22,9</b>	<b>8,8</b>	<b>4,3</b>	<b>0,73</b>

Средняя полнота по стране – 0,73. Наиболее высокополнотные насаждения сосредоточены в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов (Березинско-Предполесский округ). Наблюдается тенденция к снижению площадей низкополнотных насаждений (–0,2%) и увеличению высокополнотных (+5,6%); несколько снизилось процентное участие среднеполнотных насаждений (–5,3%).

В целом снижение средней полноты древостоев можно связать с увеличением возраста

насаждений, что вызвано проведением рубок промежуточного пользования и естественным изреживанием древостоев. В сосняках, произрастающих на избыточно увлажненных почвах, средняя полнота ниже, чем в суходольных насаждениях, что также связано с естественным отпадом.

В табл. 5 приводится динамика распределения сосновых насаждений по типам леса за 2009 и 2019 гг. На рис. 1, расположенном ниже, можно проследить динамику по типам леса за 1978, 2009 и 2019 гг.

Таблица 5

## Динамика распределения сосняков по типам леса

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Год учета	Типы леса, % к общей площади формации											Площадь, тыс. га
		С. лш.	С. вер.	С. бр.	С. мш.	С. ор.	С. кис.	С. чер.	С. дм.	С. баг.	С. ос.	прочие	
I. Дубово-темнохвойные леса	2009	0,1	4,0	0,7	39,0	18,2	7,1	11,5	5,5	4,4	2,2	7,4	1383,7
	2019	–	2,2	0,4	32,2	25,0	8,7	11,8	6,1	4,5	2,0	7,1	1514,4
1. Западно-Двинский	2009	–	3,6	1,0	33,8	10,9	4,3	13,1	10,0	8,0	4,0	11,1	386,8
	2019	0,1	2,2	0,6	28,9	15,1	5,4	13,8	10,8	8,4	3,9	10,8	402,4
2. Ошмяно-Минский	2009	0,1	4,2	0,8	41,2	22,3	6,7	10,8	3,4	2,6	2,0	5,8	537,9
	2019	0,1	2,3	0,4	34,7	29,1	7,8	11,1	3,9	2,8	1,7	6,1	614,4
3. Оршанско-Могилевский	2009	0,1	4,2	0,4	40,8	19,5	9,8	10,9	4,1	3,2	0,8	6,1	459,0
	2019	–	1,9	0,2	31,7	28,5	13,3	10,8	4,9	3,2	0,6	4,9	497,6
II. Грабово-дубово-темнохвойные леса	2009	0,3	5,6	0,3	52,8	17,0	4,6	11,7	2,8	1,8	0,6	2,3	1314,8
	2019	0,1	2,9	0,2	42,0	29,0	5,6	11,9	2,9	1,8	0,6	3,0	1265,1
4. Неманско-Предполесский	2009	0,3	5,1	0,4	52,8	21,2	6,0	9,6	2,1	1,0	0,4	1,1	776,6
	2019	0,1	2,9	0,2	42,4	33,9	8,2	8,6	1,8	0,9	0,4	0,6	710,7
5. Березинско-Предполесский	2009	0,4	6,4	0,3	52,7	11,1	2,6	14,8	3,9	2,8	0,9	4,0	538,2
	2019	0,2	3,0	0,1	41,6	22,8	4,6	16,1	4,5	3,0	0,8	3,3	554,4
III. Широколиственно-сосновые леса	2009	1,9	10,6	0,6	42,1	8,4	1,0	23,5	5,2	2,0	1,6	3,2	1305,4
	2019	1,2	6,8	0,2	40,1	13,8	1,3	24,3	5,3	1,8	2,0	3,2	1326,1
6. Бугско-Предполесский	2009	1,9	10,3	0,7	39,4	3,3	0,5	28,3	6,7	2,4	2,0	4,5	417,7
	2019	1,0	5,6	0,2	37,7	14,0	1,6	28,8	5,3	1,9	1,4	2,5	432,3
7. Полесско-Приднепровский	2009	1,9	10,7	0,5	43,4	10,9	1,3	21,2	4,5	1,7	1,4	2,6	887,7
	2019	1,3	7,4	0,1	41,4	13,7	1,2	22,0	5,2	1,8	2,3	3,6	893,8
Итого	2009	0,7	6,7	0,5	44,6	14,6	4,3	15,5	4,5	2,7	1,5	4,4	4003,9
	2019	0,5	3,9	0,3	37,9	22,5	5,6	16,0	4,9	2,8	1,6	4,0	4105,6

Преобладающими типами леса являются сосняк мшистый (37,9%), сосняк орляковый (22,5%) и сосняк черничный (16,0%). Среди болотных типов леса преобладают сосняк долгомошный (4,9%) и сосняк багульниковый (2,8%), наибольшие площади которых сосредоточены в Западно-Двинском геоботаническом округе.

Площадь сосняка мшистого заметно снизилась за последние 10 лет, вместе с тем наблюдается рост площади сосняка орлякового, что можно объяснить затруднениями при натурной таксации этих схожих визуально типов леса, особенно в переходных условиях. Вместе с тем повысилась и средняя продуктивность сосновых насаждений, так что трансформация типов леса будет вполне закономерной.

В табл. 6 приводится распределение сосняков по типам лесорастительных условий на 2019 г. Преобладающие ТЛУ – закономер-

но А<sub>2</sub> (42,4%), В<sub>2</sub> (22,7%), В<sub>3</sub> (11,1%), соответствующие суходольным типам леса (сосняк мшистый, орляковый, черничный).

На рис. 2, расположенном ниже, приводится распределение сосняков по группам возраста на чистые и смешанные насаждения (по стране, в целом). Преобладают смешанные молодняки (примесь быстрорастущих мягколиственных пород), чистые средневозрастные (большая их часть – массовые послевоенные сосновые монокультуры) и приспевающие сосняки. Касательно спелых сосняков наблюдается практически паритет в отношении чистые – смешанные насаждения. В целом по стране преобладают смешанные сосновые древостои (57,2%).

На рис. 3 приводится распределение сосняков по категориям лесов (в соответствии с Лесным кодексом [15]) в разрезе геоботанических подзон. Большая часть сосняков сосредоточена в категории эксплуатационных

лесов (53,6%); в защитных лесах сосредоточено 18,4%, в природоохранных – 14,3%, в рекреационно-оздоровительных – 13,7% сосновых насаждений. Это распределение характерно для всех геоботанических подзон, за

исключением подзоны широколиственно-сосновых лесов, в которой доля рекреационно-оздоровительных лесов достигает 15,6%. В подзоне дубово-темнохвойных лесов самая низкая доля эксплуатационных лесов (48,7%)

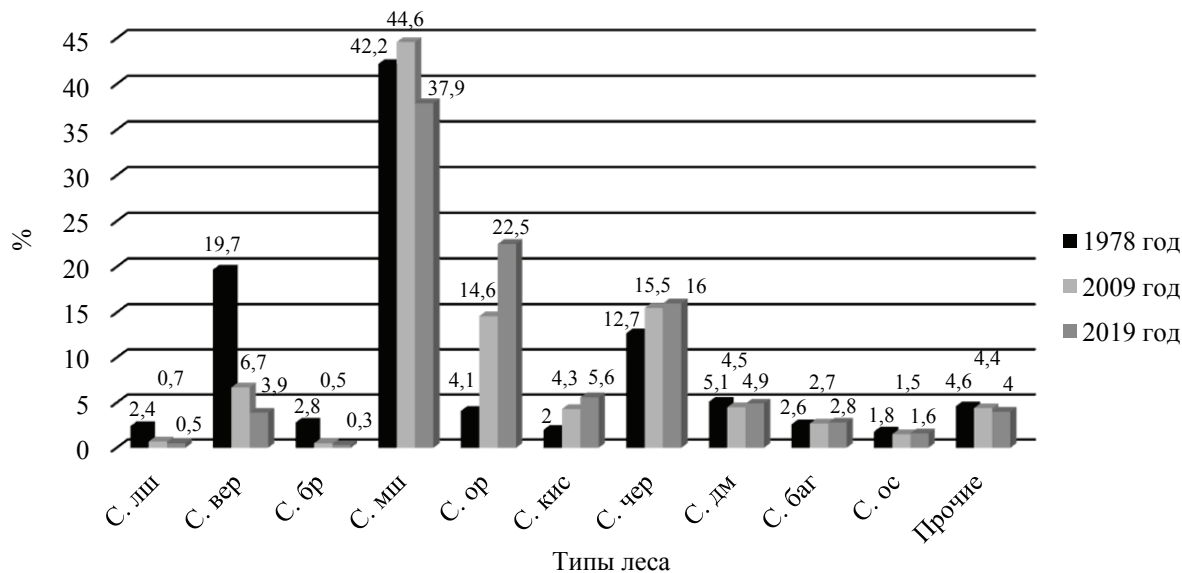


Рис. 1. Динамика распределения сосняков Беларуси по типам леса

Таблица 6

**Распределение сосняков по типам лесорастительных условий в настоящее время**

Подзоны (I–III), округа (1–7)	Типы лесорастительных условий, % к общей площади формации												Площадь, тыс. га
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	прочие	
<i>I. Дубово-темнохвойные леса</i>	–	34,9	3,2	6,2	12,7	25,0	8,3	0,2	0,2	8,5	0,2	0,6	1514,4
1. Западно-Двинский	–	31,8	3,0	10,8	22,7	15,1	10,7	0,2	0,1	5,4	0,1	0,1	402,4
2. Ошмянно-Минский	0,1	36,9	3,2	3,9	9,7	29,3	7,1	0,2	0,4	7,3	0,3	1,6	614,4
3. Оршанско-Могилевский	–	34,8	3,5	4,7	6,5	28,9	7,6	0,1	–	13,8	0,1	–	497,6
<i>II. Грабово-дубово-темнохвойные леса</i>	0,1	45,0	3,5	2,9	3,9	29,2	8,5	0,1	–	6,4	0,2	0,2	1265,1
4. Неманско-Предполесский	0,1	45,3	2,5	1,8	1,7	34,1	6,2	0,1	–	7,8	0,4	–	710,7
5. Березинско-Предполесский	0,2	44,7	4,7	4,5	6,8	22,9	11,4	0,1	–	4,6	–	0,1	554,4
<i>III. Широколиственно-сосновые леса</i>	1,2	47,6	8,2	5,2	5,7	14,1	16,4	0,1	–	1,3	–	0,2	1326,1
6. Бугско-Предполесский	1,0	43,4	8,7	5,3	5,6	14,1	20,1	0,1	–	1,6	0,1	–	432,3
7. Полесско-Приднепровский	1,3	49,8	7,9	5,1	5,8	14,1	14,5	0,1	–	1,2	–	0,2	893,8
<i>Итого</i>	<b>0,5</b>	<b>42,4</b>	<b>4,9</b>	<b>4,8</b>	<b>7,6</b>	<b>22,7</b>	<b>11,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>5,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>4105,6</b>



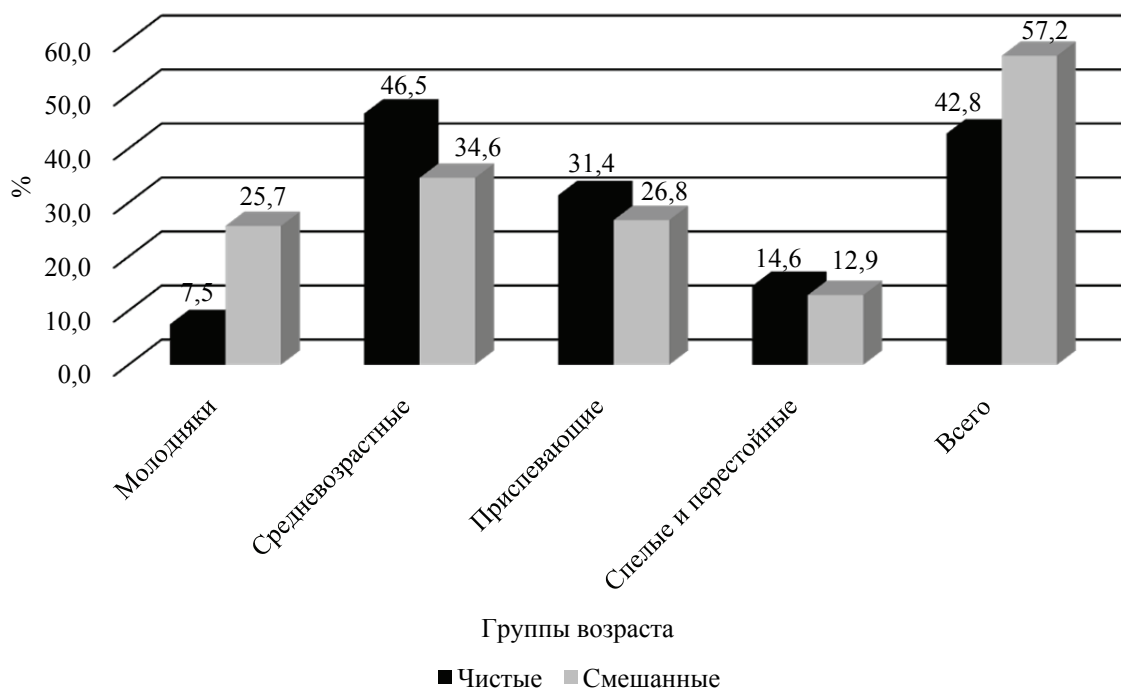


Рис. 2. Распределение сосняков по группам возраста на чистые и смешанные насаждения

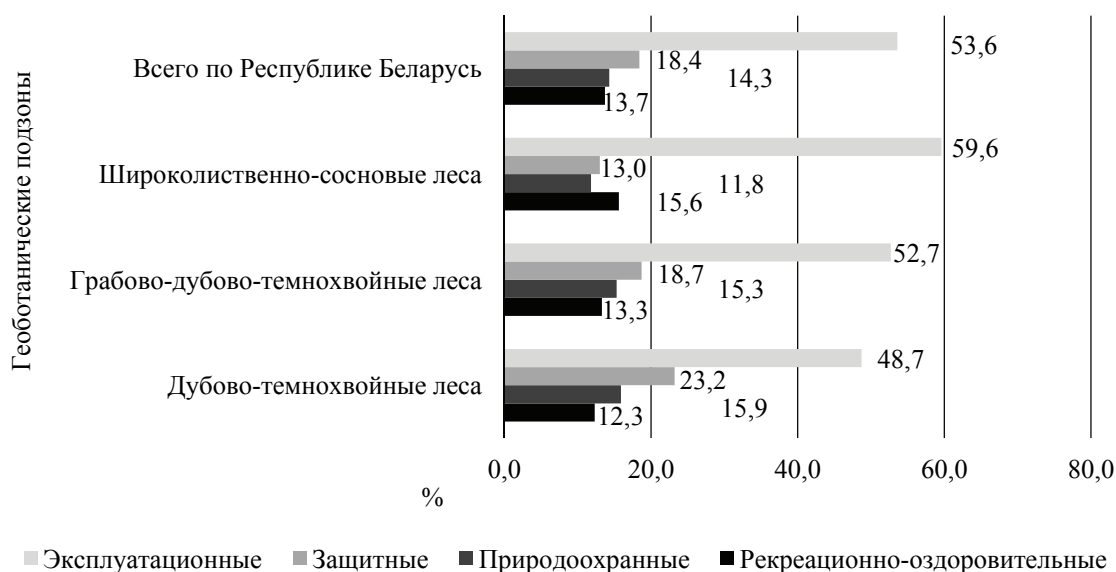


Рис. 3. Распределение сосновых насаждений по категориям лесов

**Заключение.** В результате анализа данных по сосновым насаждениям за 1978, 2009 и 2019 гг. было установлено, что общая площадь сосняков за последние 10 лет снизилась на 5,2%, что в подзоне широколиственно-сосновых лесов связано с короедным усыханием. Преобладают средневозрастные сосняки (40,7%), средний возраст – 64 года. Средний класс бонитета сосновых насаждений по стране составляет I,7, преобладают насаждения I класса бонитета (51,4%). Средняя полнота по стране – 0,73; преобладают сосняки с полнотой 0,7 (45,5%). Преобладающими ти-

пами леса являются: сосняк мшистый (37,9%), сосняк орляковый (22,5%) и сосняк черничный (16,0%). Преобладающие ТЛУ – А<sub>2</sub> (42,4%), В<sub>2</sub> (22,7%) и В<sub>3</sub> (11,1%). Преобладают смешанные молодняки, чистые средневозрастные, приспевающие и спелые сосняки. В целом по стране преобладают смешанные сосновые древостои (57,2%). Большая часть сосняков сосредоточена в категории эксплуатационных лесов (53,6%); в защитных лесах сосредоточено 18,4%, в природоохранных – 14,3%, в рекреационно-оздоровительных – 13,7% сосновых насаждений.

## Литература

1. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2019 года. Минск: Белгослес, 2019. 62 с.
2. Отчет о результатах экспедиционного лесопатологического обследования насаждений ГЛХУ «Любанский лесхоз», ГЛХУ «Петриковский лесхоз» и ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз» специалистами РУП «Белгослес» по состоянию на 1 ноября 2017 года / А. А. Сазонов [и др.]. Минск: Белгослес, 2017. № 3. 19 с.
3. Практическое руководство № 1. Ведение лесного хозяйства в условиях короедного усыхания сосны / А. А. Сазонов [и др.]. Минск: Белгослес, 2017. 11 с.
4. Kunca A., Leontovyč R. Pines dieback caused by *Cenangium ferruginosum* Fr. in Slovakia in 2012 // *Folia Oecologica / De Gruyter Poland Sp. z o.o. Warsaw*, 2013. No. 40. P. 220–224.
5. Луферов А. О., Лабоха К. В. Содействие естественному возобновлению как основной метод лесовосстановления в условиях усыхания сосны // *Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2018, № 2. С. 56–62.
6. Луферов А. О., Ковалишин В. Р. Проблема усыхания сосновых насаждений на территории Белорусского и Украинского Полесья // *Сохранение лесных генетических ресурсов: материалы 5-й Междунар. конф.-совещания*. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2017. С. 119–122.
7. Юркевич И. Д., Гельтман В. С. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1965. 288 с.
8. Рожков Л. Н., Ермаков Н. Е., Ловчий Н. Ф. Динамика и состояние сосновых лесов Беларуси // *Труды БГТУ. Сер. I: Лесное хозяйство*. 2005. Вып. XIII. С. 7–13.
9. Рожков Л. Н. Динамика структуры и продуктивности лесных формаций в Республике Беларусь // *Труды БГТУ. Сер. I: Лесное хозяйство*. 2007. Вып. XV. С. 98–102.
10. Ловчий Н. Ф. Экологический анализ структуры и продуктивности сосновых лесов Беларуси. Минск: Беларуская навука, 1999. 263 с.
11. Лабоха К. В., Шиман Д. В., Борко А. Ч. Современное состояние и динамика сосновых лесов Беларуси // *Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр.* Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2012. Вып. 72. С. 86–100.
12. Nobukazu Nakagoshi. Сосновые леса в Восточной Азии // *Vegetation Science in Forestry*, 1995. P. 85–104.
13. Oswalt Christopher M., Cooper Jason A., Brockway Dale G. История и современное состояние длиннохвойной сосны в Южных Соединенных Штатах // *Gen. Tech. Rep. SRS-166*. Asheville, NC: U. S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station, 2012. 51 p.
14. Reque J. A., Bravo Felipe. Определение типов лесной структуры с использованием данных Национальной лесной инвентаризации: применение для насаждений скального дуба на Кантабрийском хребте // *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*. Vol. 17. No 2. 2008. P. 105–113.
15. Лесной кодекс Республики Беларусь от 24 дек. 2015 г. № 332-3: принят Палатой представителей 9 дек. 2015 г. (в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.12.2018 г. № 152-3). Минск, 2015. 80 с.

## References

1. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2019* [The State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2019]. Minsk, Belgosles Publ., 2019. 62 p.
2. Sazonov A. A. *Otchet o rezul'tatakh ekspeditsionnogo lesopatologicheskogo obsledovaniya nasazhdeniy GLKhU "Lyubanskiy leskhov", GLKhU "Petrikovskiy leskhov" i GOLKhU "Mozyrskiy opytnyy leskhov" spetsialistami RUP "Belgosles" po sostoyaniyu na 1 noyabrya 2017 goda* [Report on the results of the expedition forest pathological survey of the plantations of the Luban Forestry Enterprise, Petrikov Forestry Enterprise and Mozyr Experimental Forestry Enterprise by specialists of RUE "Belgosles" as of November 1, 2017]. Minsk, Belgosles Publ., 2017, no. 3. 19 p.
3. Sazonov A. A., Zvyagintsev V. B., Kukhta V. N., Tupik P. V. *Prakticheskoye rukovodstvo № 1. Vedeniye lesnogo khozyaystva v usloviyakh koroyednogo usykhaniya sosny* [Practical guide no. 1. Forest management in conditions of bark beetle dieback of pine stands]. Minsk, Belgosles Publ., 2017. 11 p.
4. Kunca A., Leontovyč R. Pines dieback caused by *Cenangium ferruginosum* Fr. in Slovakia in 2012. *Folia Oecologica*. De Gruyter Poland Sp. z o.o. Warsaw, 2013, no. 40, pp. 220–224.
5. Luferov A. O., Labokha K. V. Assistance to natural regeneration as the basic method of reforestation in conditions of dieback of pine forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 2, pp. 56–62 (In Russian).

6. Lufarov A. O., Kovalyshyn V. R. The problem of *Pinus Sylvestris* dieback on the territory of the Belarusian and Ukrainian Polesye. *Materialy 5-y Mezhdunar. konf.-soveshchaniya* ("Sokhraneniye lesnykh geneticheskikh resursov") [Materials of the 5-th International conference-meeting ("Conservation of forest genetic resources")]. Gomel', 2017, pp. 119–122 (In Russian).
7. Yurkevich I. D., Geltman V. S. *Geografiya, tipologiya i rayonirovaniye lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geography, typology and zoning of forest vegetation in Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1965. 288 p.
8. Rozhkov L. N., Ermakov N. E., Lovchiy N. F. Dynamics and condition of pine forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2005, issue XIII, pp. 7–13 (In Russian).
9. Rozhkov L. N. Dynamics of the structure and productivity of forest formations in the Republic of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2007, issue XV, pp. 98–102 (In Russian).
10. Lovchiy N. F. *Ekologicheskiy analiz struktury i produktivnosti sosnovykh lesov Belarusi* [Ecological analysis of the structure and productivity of pine forests of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1999. 263 p.
11. Labokha K. V., Shiman D. V., Borko A. Ch. Current state and dynamics of the pine forests of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of forest science and forestry: collection of scientific papers], 2012, issue 72, pp. 86–100 (In Russian).
12. Nobukazu Nakagoshi. Pine forests in East Asia. *Vegetation Science in Forestry*, 1995, pp. 85–104.
13. Oswalt Christopher M., Cooper Jason A., Brockway Dale G. History and current condition of long-leaf pine in the Southern United States. *Gen. Tech. Rep. SRS-166*. Asheville, NC: U. S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station, 2012. 51 p.
14. Reque J. A., Bravo Felipe. Identifying forest structure types using National Forest Inventory Data: The case of sessile oak forest in the Cantabrian range. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 2008, vol. 17, no. 2, pp. 105–113.
15. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Code of the Republic of Belarus]. Minsk, 2015. 80 p.

#### Информация об авторах

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

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

**Карась Андрей Николаевич** – главный инженер. РУП «Белгослес» (220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 27/1, Республика Беларусь). E-mail: info@belgosles.by

#### Information about the authors

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

**Lufarov Anton Olegovich** – Master of Agriculture, PhD student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anton.lufarov@tut.by

**Karas' Andrey Nikolayevich** – Chief engineer. RUE "Belgosles" (27/1, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@belgosles.by

Поступила 15.10.2019

УДК 630.174:630\*524

**А. О. Луферов**

Белорусский государственный технологический университет

**ХОД ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ СОСНОВОГО ПОДРОСТА  
ПОД ПОЛОГОМ НАСАЖДЕНИЙ С ПРОВЕДЕННЫМИ РУБКАМИ  
ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
И ПОСТЕПЕННЫМИ РУБКАМИ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

В статье приведены результаты анализа литературных источников, опытного материала и статистической информации для выявления эффективности хода предварительного и сопутствующего естественного возобновления сосны под пологом средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждений, а также факторов, влияющих на формирование подроста. Проанализирован отечественный и зарубежный опыт, выявлены особенности и факторы, влияющие на ход естественного возобновления леса. Исследование проводилось на территории 10 лесохозяйственных учреждений Беларуси с охватом всех геоботанических подзон на участках с проведением рубок ухода (13 временных пробных площадей), рубок обновления (12 временных пробных площадей) с учетом типов лесорастительных условий и условий местопроизрастания. Исследовался также ход естественного возобновления на участках с проведенными постепенными рубками главного пользования (26 временных пробных площадей). Выполнен статистический анализ собранных полевых материалов для выявления закономерностей формирования подроста сосны. Обнаружено преобладание под пологом спелых и перестойных насаждений при проведении постепенных рубок главного пользования подроста угнетенного качества (56,9%). Под пологом средневозрастных и приспевающих насаждений преобладает здоровый сосновый подрост при проведении рубок ухода (51,8%) и рубок обновления (66,4%). Средняя плотность естественного возобновления сосны под пологом насаждений после проведения рубок ухода составляет 5,23 тыс. шт./га, после проведения рубок обновления – 4,49 тыс. шт./га, после проведения постепенных рубок главного пользования – 1,35 тыс. шт./га.

**Ключевые слова:** сосна, подрост, естественное возобновление леса, полог, насаждение.

**A. O. Lufarov**

Belarusian State Technological University

**PROCESS OF NATURAL REGENERATION  
OF *PINUS SYLVESTRIS* UNDERGROWTH UNDER THE CANOPY  
OF FOREST STANDS WITH PASSED INTERMEDIATE  
AND SHELTERWOOD CUTTINGS**

The article presents the results of the analysis of literary sources, experimental materials and statistical information to identify the effectiveness of the process of preliminary and accompanying natural regeneration of pine under the canopy of middle-aged, pre-mature, mature and over-mature forest stands, as well as factors affecting the formation of undergrowth. The local and foreign experience is analyzed, the features and factors that influence the course of natural regeneration of the forest are identified. The study was conducted on the territory of 10 forest enterprises of Belarus, covering all geobotanical subzones in areas with care felling (13 temporary indicator plots), renovation felling (12 temporary indicator plots), taking into account the types of forest growing conditions and habitat conditions. The course of natural regeneration in areas with shelterwood final felling (26 temporary indicator plots) was also studied. A statistical analysis of the collected field materials was carried out to identify patterns of pine undergrowth formation. Under the canopy of mature and over-mature forest stands after shelterwood final felling, pine undergrowth of oppressed quality predominates (56.9%). Under the canopy of middle-aged and pre-mature stands, healthy pine undergrowth predominates during care felling (51.8%) and renovation felling (66.4%). The average density of pine natural regeneration under the canopy of forest stands after care felling is 5.23 thousand units per ha, after renovation felling – 4.49 thousand units per ha, and after shelterwood final felling – 1.35 thousand units per ha.

**Key words:** pine, undergrowth, natural regeneration of forest stand, canopy, forest stand.

**Введение.** Раскрытие закономерностей формирования естественного возобновления под пологом лесных насаждений имеет большое практическое значение. По наличию и каче-

ству формирующегося подроста можно оценить ход и успешность естественного возобновления, а также возможности последующего воспроизводства лесных ресурсов естественным

путем – наиболее благоприятным как с точки зрения экологии, так и экономики [1]. Отсутствие благонадежного подростка под пологом спелого насаждения приведет во многих случаях к назначению сплошной рубки главного пользования с последующим созданием лесных культур. Таким образом, оценка предварительного естественного возобновления является важной задачей.

Формирование соснового подростка под пологом лесных насаждений широко исследовалось российскими учеными. Так, к примеру, выявлено, что более полное заселение верхних горизонтов почвы корнями, использующими почвенные элементы питания и влагу, а также низкая освещенность в молодняках приводят к гибели подростка, который отмирает на этапе всходов или одно-трехлеток [2]. Поэтому исследование формирования подростка в целом представляет интерес начиная со средневозрастных, сформированных насаждений.

Другими учеными выявлена успешность лесовозобновительного процесса после выборочных рубок, в результате проведения которых меньше нарушается строение насаждения, слабо трансформируется живой напочвенный покров (далее – ЖНП). Чересполосные постепенные рубки (аналог наших полосно-постепенных рубок) не обеспечивают необходимого лесовозобновительного эффекта в отношении успешного естественного возобновления леса [3].

Установлены причины слабой жизнеспособности значительной части соснового подростка – это длительное нахождение в тени материнского полога; низкое качество семян, образующих перестойными деревьями; действие патогенов и вредителей. Наиболее успешно возобновление сосны идет в типе леса сосняк мшистый со слабым развитием ЖНП и теневыносливого подлеска на сухих и свежих песчаных почвах с типами лесорастительных условий (далее – ТЛУ) В<sub>1</sub>–В<sub>2</sub> и А<sub>1</sub>–А<sub>2</sub>. Подрост под пологом приурочен к опушкам, «окнам» и прогалинам, возникающим в результате действия корневой губки [4].

Даже в случае хорошего семеношения взрослого яруса ход естественного возобновления может быть неудовлетворительным вследствие наличия мощного ЖНП в продуктивных участках леса, который препятствует развитию всходов и подростка. В таких случаях необходимо проведение мер содействия [5].

Установлено, что сосна в процессе лесовосстановления не требует высокого уровня содержания органического вещества, но при этом чувствительна к содержанию влажности [6].

Рубки обновления некоторыми исследователями обозначаются в качестве эффективного

мероприятия для омолаживания насаждений и последующего естественного возобновления сосны без искусственного лесовосстановления [7–9], так как этот вид рубок прямо влияет на видовой состав и интенсивность ЖНП [10], от чего, в свою очередь, зависит ход формирования подростка. Вместе с этим большая часть исследований сводится к анализу результатов проведения первого приема рубки обновления [11].

Это же относится и к исследованию лесовозобновительной эффективности постепенных рубок главного пользования, особенно полосно-постепенных рубок (далее – ППР), после проведения первых приемов которых естественное возобновление сосны идет довольно успешно, однако под пологом оставленных полос формируется преимущественно нежизнеспособный подрост в малом количестве вследствие неблагоприятных условий освещенности и высокой интенсивности ЖНП [12].

Зарубежными исследователями также изучался ход естественного возобновления сосны под пологом леса и факторы, влияющие на него. Так, в Литовских резерватах проводилось исследование, в результате которого было выявлено, что возобновительные рубки с переменной интенсивностью выборки могут давать хорошие результаты на нормально орошаемых и бедных почвах с невысокой интенсивностью ЖНП. Такие рубки давали лучший эффект при проведении бороздования, которое необходимо приурочить к году семеношения. Лучшая интенсивность естественного возобновления наблюдается при полноте не более 0,4 [13].

Польскими исследователями изучалось влияние режимов проведения постепенных рубок в сосновых насаждениях. Ими было установлено [14], что при первых приемах рубок необходимо снижение полноты до 0,7 с последующим изреживанием древостоя до 0,3 с целью создания лучших условий роста молодого поколения сосны.

Испанское исследование [15] хода естественного возобновления сосны под пологом одно- и разновозрастных насаждений установило высокое влияние на формирование подростка сомкнутости верхнего яруса древостоя, а также яруса подлесочных пород. Кроме того, на формирование подростка, который приурочен преимущественно к «окнам», образующимся в ходе проведения рубки, прямо влияет влажность почвы.

В настоящее время для условий Беларуси недостаточно исследовано качество формирующегося под пологом соснового подростка, его микроположение, а также влияние типа условий местопроизрастания на успешность естественного лесовосстановления. Кроме того,

эффективность завершающих приемов рубок обновления и постепенных рубок главного пользования требует более подробной оценки для выявления целесообразности их проектирования и проведения в конкретных случаях.

**Основная часть.** Исследованием затронуто 10 государственных лесохозяйственных учреждений (далее – лесхозов) Беларуси с распределением по всем геоботаническим подзонам (с охватом 8 геоботанических районов). Закладка временных пробных площадей (далее – ВПП) производилась методом трансект – со сплошным пересчетом самосева на учетных площадках, площадь которых устанавливалась в зависимости от общей площади выдела и густоты подроста, определенной глазомерно. На учетных площадках учитывалось количество подроста для каждой древесной породы, возраст, высота особей сосны, микроположение, категория качества, встречаемость подроста, живой напочвенный покров, тип условий местопроизрастания и тип лесорастительных условий (далее – ТУМ и ТЛУ), состав и характеристика основного яруса древостоя, вид рубки и год проведения.

Характеристика материнских древостоев на участках с проведением рубок промежуточного и главного пользования определялась по общепринятым лесоустроительным методикам: состав, полнота и запас вычислялись при помощи закладки круговых реласкопических площадок полнотомером Биттерлиха. Количество площадок определялось в зависимости от полноты и площади насаждения. Замерялись также средние высоты (в метрах) и диаметры (в сантиметрах) насаждений.

Исследование хода естественного возобновления сосны под пологом насаждений после проведения *рубок ухода* (сюда же в ходе данного исследования включены выборочные санитарные рубки, которые по интенсивности изреживания и формирующемуся впоследствии световому режиму насаждений на практике не сильно отличаются от рубок прореживания и проходных рубок) происходило на территории следующих объектов: Ушачское лесничество Ушачского лесхоза (ВПП 1-1-16, 2-41-27) – после проведения проходных рубок; Орликовское и Копыльское лесничества Копыльского опытного лесхоза (ВПП 3-76-15, 4-76-41, 5-15-29) – рубки прореживания и проходные рубки; Зачепицкое лесничество Щучинского лесхоза (ВПП 6-8-27) – проходная рубка; Ружанское и Вольковское лесничества Ивацевичского военного лесхоза (ВПП 7-12-23, 8-4-30, 9-4-31, 10-85-1) – проходные и ВСП; Новобелицкое лесничество Кореневской экспериментальной лесной базы (далее – ЭЛБ) (ВПП 11-284-11, 12-250-3) – проходные и ВСП; Чернянское лесничество Буда-

Кошелевского лесхоза (ВПП 13-25-8) – рубка прореживания.

*Рубки обновления* исследовались в следующих объектах: Бегомльское лесничество Бегомльского лесхоза (ВПП 1-56-22, 2-78-9, 3-56-23, 4-56-27, 5-63-2, 6-86-2) – после проведения вторых приемов рубки; Копыльское лесничество Копыльского опытного лесхоза (ВПП 7-54-22) – проведен первый прием рубки; Стародятловичское лесничество Гомельского опытного лесхоза (ВПП 8-102-4, 9-102-7, 10-106-1, 11-106-5) – проведены первые приемы рубок; Новобелицкое лесничество Кореневской ЭЛБ (ВПП 12-392-2) – проведен первый прием рубки.

*Постепенные рубки главного пользования* исследовались в следующих объектах: Ушачское лесничество Ушачского лесхоза (ВПП 1-41-38) – первый прием равномерно-постепенной рубки; Любанское лесничество Вилейского лесхоза (ВПП 2-93-3, 3-126-7, 4-127-5, 5-162-14) – первые приемы ППР; Зачепицкое и Куриловичское лесничества Щучинского лесхоза (ВПП 6-49-16, 7-45-12, 8-26-30, 9-44-23, 10-51-28, 11-27-6, 12-123-16) – первые приемы ППР; Ружанское лесничество Ивацевичского военного лесхоза (ВПП 13-13-21) – первый прием ППР; Березовское лесничество Барановичского лесхоза (ВПП 14-47-10, 15-99-8, 16-93-12, 17-98-13, 18-111-4) – первые приемы ППР; Стародятловичское лесничество Гомельского опытного лесхоза (ВПП 19-96-6, 20-96-8, 21-102-1, 22-104-3, 23-133-10, 24-138-3, 25-173-2) – первые приемы ППР; Чернянское лесничество Буда-Кошелевского лесхоза (ВПП 26-6-31) – первые приемы ППР.

В табл. 1 приводятся средние статистические показатели соснового подроста под пологом насаждений. При анализе были рассмотрены следующие статистики исходных данных: минимальные и максимальные значения показателей, среднее арифметическое значение ( $X$ ), среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ), асимметрия ( $A$ ), эксцесс ( $E$ ) и коэффициент вариации ( $CV$ ). Показатели подроста и самосева сосны довольно сильно варьируют. Ряды распределения практически по всем показателям неоднородные, так как имеет место довольно большой разброс данных относительно среднего значения ( $CV > 0,33$ ). Распределение большей части показателей массива данных характеризуется правосторонней асимметрией. Выделяются две нетипичные ВПП: ВПП 5-15-29 (54,0 тыс. шт./га) – на участке после проведения рубок ухода и ВПП 5-63-2 (18,5 тыс. шт./га) – на участке после проведения рубки обновления. При некоторых приводимых анализах эти ВПП исключались из расчетов для достижения большей достоверности результатов.

Таблица 1

## Средние статистические показатели подростка сосны

Показатели	Значение		Статистики				
	min	max	$X$	$\sigma$	$A$	$E$	$CV$
Под пологом после проведения рубок ухода							
Возраст, лет	3,00	11,50	6,48	2,59	0,67	-0,29	0,39
Высота, см	20,20	298,50	100,70	70,15	2,07	5,28	0,69
Густота, тыс. шт./га	1,90	14,30	5,23	3,37	1,95	4,70	0,64
Встречаемость	0,27	0,96	0,53	0,20	0,85	0,66	0,38
Под пологом после проведения рубок обновления							
Возраст, лет	2,70	7,80	5,64	1,33	-0,60	1,26	0,24
Высота, см	21,80	127,30	74,55	29,07	-0,24	0,59	0,39
Густота, тыс. шт./га	1,20	18,50	4,49	4,61	2,96	9,53	1,03
Встречаемость	0,18	0,66	0,34	0,13	1,29	2,17	0,39
Под пологом после проведения постепенных рубок главного пользования							
Возраст, лет	3,10	13,10	6,34	3,00	1,01	-0,02	0,47
Высота, см	11,50	141,90	78,85	37,54	-0,17	-1,20	0,48
Густота, тыс. шт./га	0,10	9,20	1,35	2,13	3,11	9,31	1,58
Встречаемость	0,10	0,69	0,21	0,16	2,17	4,18	0,76

В табл. 2 приводятся средние характеристики формирующихся молодняков с подразделением по ТУМ и видам проведенных мероприятий. Наибольшая средняя густота у насаждений с проведенными рубками ухода в ТУМ А<sub>2</sub> (5,56 тыс. шт./га, ВПП 5-15-29 исключена), наибольшая встречаемость – в ТУМ А<sub>2</sub> и В<sub>2</sub>, также после проведения рубок ухода (0,56-0,58). Наибольшая доля соснового подростка в общих составах формирующихся молодняков – в ТУМ А<sub>2</sub> (80% и более). В ТУМ В<sub>2</sub> наблюдается большая примесь дуба и мягколиственных пород; в ТУМ В<sub>3</sub> преобладает ель, что связано с ее теневыносливостью и способностью сосуществовать с интенсивным травяно-кустарничковым ярусом.

На рис. 1, который приводится ниже, проиллюстрировано распределение соснового подростка на участках с проведением рубок ухода по густоте и качеству. Преобладает здоровый подрост (51,8%). Наибольшая густота соснового подростка, как отмечалось раньше, на ВПП 5-15-29 – здесь в результате проведения рубки прореживания в 2015 г., а также выборочной санитарной рубки в 2016 г. сформировался оптимальный световой режим в связи со снижением полноты древостоя до 0,56. В результате проведения хозмероприятий был нарушен ЖНП (проективное покрытие мохово-лишайникового яруса составляло менее 40%), что совпало с годом семеношения и повлияло на успешный результат.

Таблица 2

## Средние статистические показатели подростка сосны

Категории участков	ТУМ	Средний состав	средняя встречаемость подростка сосны	Статистические показатели, характеризующие густоту естественного возобновления сосны						
				среднее значение густоты	стандартная ошибка	стандартное отклонение	дисперсия	коэффициент вариации	минимум	максимум
Рубки ухода	А <sub>2</sub>	8С1Д1Б + Ос, Е, Кл	0,56	5,56	1,24	3,73	13,91	0,67	1,9	14,3
	В <sub>2</sub>	5С1Е2Дс2Б + Ос	0,58	4,23	1,24	2,15	4,64	0,51	2,0	6,3
Рубки обновления	А <sub>2</sub>	8С1Д1Б + Ос	0,35	3,27	0,46	1,46	2,12	0,45	1,2	5,2
	В <sub>2</sub>	4С4Д2Б + Е	0,23	2,70	–	–	–	–	–	–
Несплошные рубки главного пользования	А <sub>2</sub>	6С2Д1Б1Е + Ос	0,23	1,60	0,50	2,31	5,32	1,44	0,2	9,2
	В <sub>2</sub>	4Д2Кл1Е1С2Б	0,11	0,15	0,05	0,07	0,01	0,47	0,1	0,2
	В <sub>3</sub>	3Е2С3Д2Б	0,15	0,40	0,20	0,35	0,12	0,88	0,2	0,8



Рис. 1. Густота и качество соснового подроста на участках с проведением рубок ухода

На рис. 2 приводится распределение соснового подроста на участках с проведением рубок обновления по густоте и качеству. Максимальная густота соснового подроста отмечена на ВПП 5-63-2 (18,5 тыс. шт./га) после проведения второго приема рубки обновления, который позволил сформировать оптимальный световой режим. Средняя густота и

встречаемость соснового подроста значительно ниже, чем при проведении рубок ухода, даже после выполнения завершающего приема, что связано с технологией проведения рубок обновления – подрост приурочен в основном к «окнам», образующимся при проведении мероприятия. Преобладает здоровый сосновый подрост (66,4%).

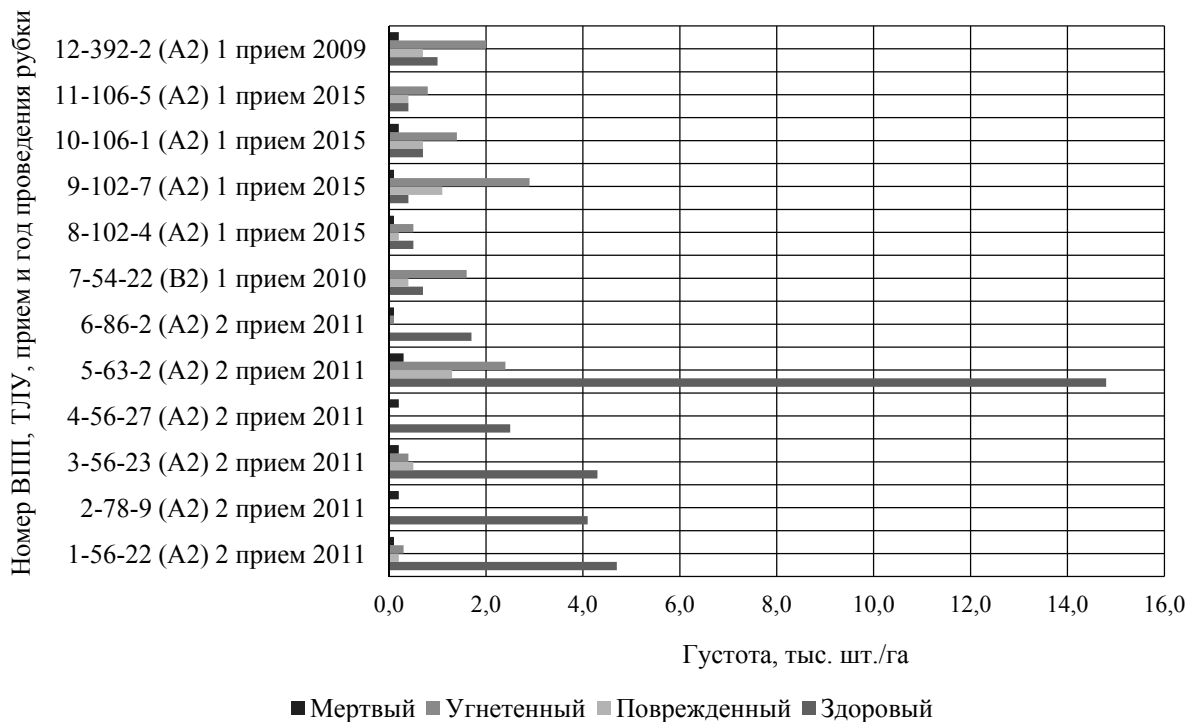


Рис. 2. Густота и качество соснового подроста на участках с проведением рубок обновления



На рис. 3 показано распределение сосново-го подроста на участках с проведением *постепенных рубок главного пользования* (РПР – равномерно-постепенная рубка главного пользования, ППР – полосно-постепенная рубка главного пользования) по густоте и качеству. Наибольшая густота соснового подроста отмечена на ВПП 10-51-28 (9,2 тыс. шт./га) и ВПП 20-96-8 (2,5 тыс. шт./га) – при проведении первого приема ППР, а на ВПП 1-41-38 – при проведении первого приема РПР (7,4 тыс. шт./га). Преобладает угнетенный сосновый подрост (56,9%), что связано с практически полным отсутствием изреживания оставленных после проведения первого приема рубки (касательно ППР) полос, в которых средняя полнота составила 0,65. Существует тенденция сосредоточения подроста к более освещенным краям оставленных полос.

На рис. 4 приводится распределение соснового подроста на исследованных ВПП по микроположению и качеству. Выделены 3 категории микроположения: микроповышение, микропонижение (особь сосны находится на визуально различимом повышении или понижении микрорельефа – естественном или образованном в результате нарушения почвы вследствие проведения мер содействия) и равнинный участок (участок поверхности без визуально очевидных перепадов рельефа).

Категории качества – здоровый, угнетенный, поврежденный (складываются в общее количество подроста при всех расчетах), мертвый (не учитывался в общем количестве

подроста, приводится процентное участие от общего количества с учетом мертвых особей). Подрост, находящийся на микропонижениях, преимущественно угнетенного качества (46,2%), значительна доля мертвых особей (8,0%) вследствие световой конкуренции в нижних ярусах. На микроповышениях преобладает здоровый подрост (58,1%) благодаря оптимальным условиям освещенности. Поврежденный подрост (27,1% на равнинных участках) – в основном результат деятельности диких животных, что особенно характерно для лесхозов западных районов страны.

В табл. 3 приводятся *коэффициенты корреляции* таксационных показателей древостоев и соснового подроста, формирующегося под пологом.

Выявлена слабая отрицательная корреляционная связь между годом проведения мер содействия и высотой ( $r = -0,45$ ), а также встречаемостью подроста ( $r = -0,12$ ). Обнаружена также слабая отрицательная корреляционная связь между полнотой материнского древостоя и густотой подроста ( $r = -0,12$ ), а также со встречаемостью ( $r = -0,17$ ). Закономерно высокая корреляционная связь между густотой подроста и его встречаемостью ( $r = 0,73$ ). Достоверная взаимосвязь между полнотой материнского древостоя и высотой подроста отсутствует.

Год проведения мер содействия также не оказывает практически никакого влияния на густоту соснового подроста под пологом ( $r = 0,09$ ), так как на появление естественного возобновления будет больше влиять совпадение с семенным годом.

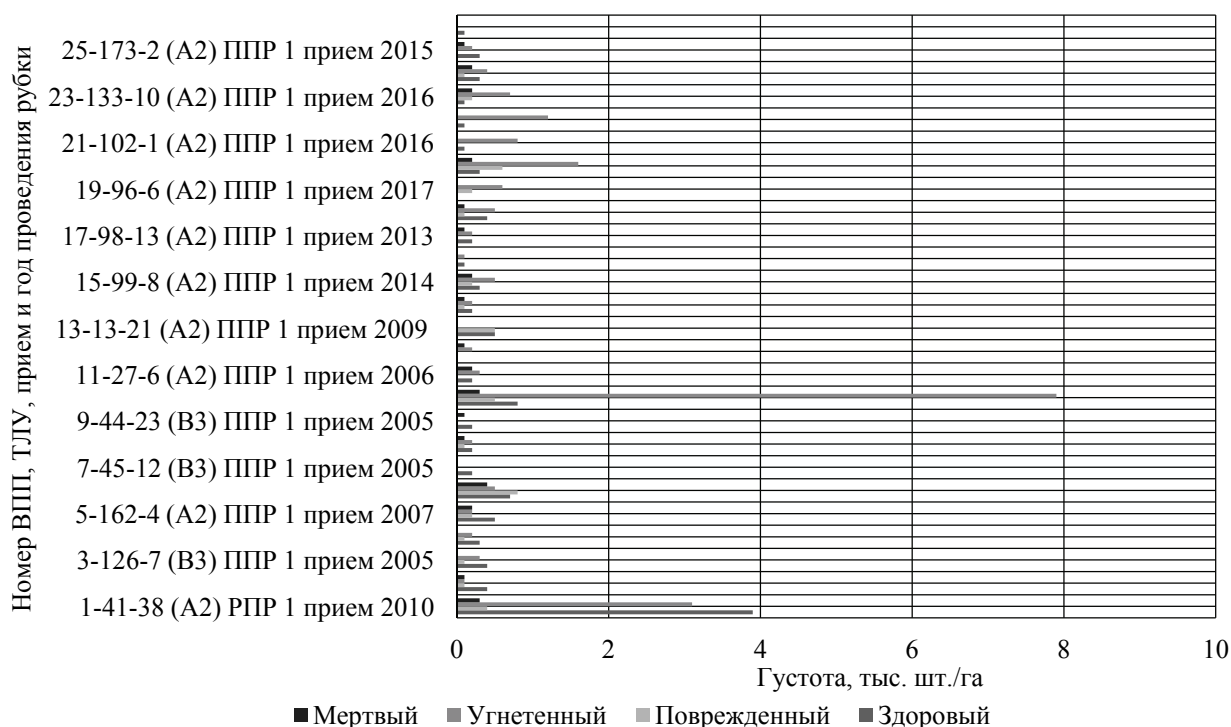


Рис. 3. Густота и качество соснового подроста на участках с проведением постепенных рубок

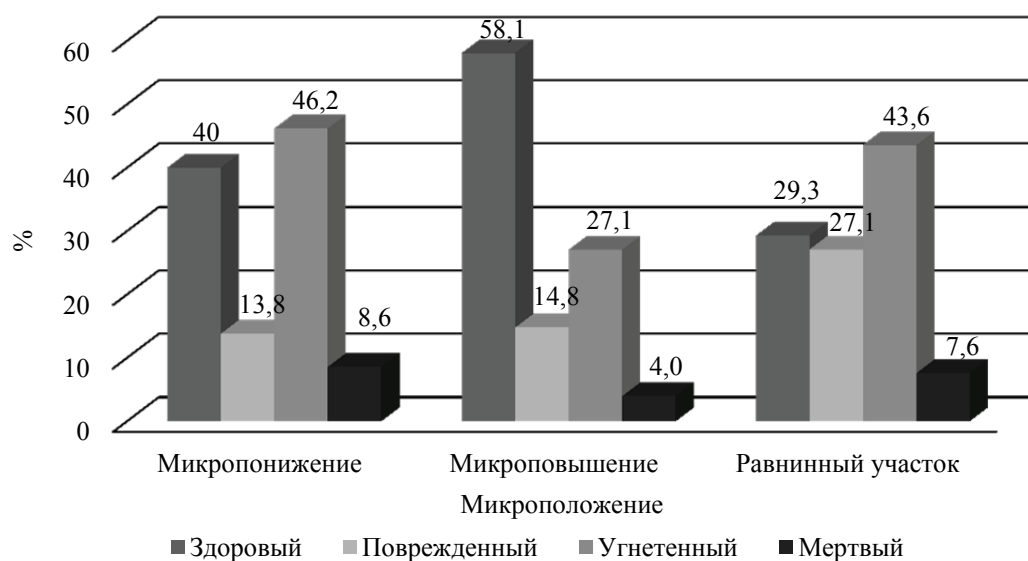


Рис. 4. Распределение соснового подроста по микроположению и качеству

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции некоторых таксационных показателей древостоев  
и соснового подроста, формирующегося под пологом**

Показатели	Год содействия	Возраст древостоя, лет	Полнота древостоя	Высота подроста, см	Густота подроста, тыс. шт./га	Встречаемость подроста
Год содействия	1,00	–	–	–	–	–
Возраст древостоя, лет	–	1,00	–	–	–	–
Полнота древостоя	–	0,34	1,00	–	–	–
Высота подроста, см	–0,45	–0,03	0,09	1,00	–	–
Густота подроста, тыс. шт./га	0,09	–0,18	–0,12	–0,15	1,00	–
Встречаемость подроста	–0,12	–0,02	–0,17	0,11	0,73	1,00

**Заключение.** В результате анализа хода естественного возобновления леса было выявлено следующее. Показатели подроста сосны, формирующегося под пологом насаждений, довольно сильно варьируют. Наибольшая средняя густота отмечена у насаждений с проведенными рубками ухода в ТУМ А<sub>2</sub> (5,56 тыс. шт./га), наибольшая встречаемость отмечена в ТУМ А<sub>2</sub> и В<sub>2</sub>, также после проведения рубок ухода (0,56–0,58). Наибольшая доля соснового подроста в общих составах молодняков наблюдается в ТУМ А<sub>2</sub> (80%).

Средняя густота и встречаемость соснового подроста на участках с проведенными рубками обновления значительно ниже, чем при проведении рубок ухода, что связано с приуроченностью подроста преимущественно к «окнам», образующимся при проведении хозяйственных мероприятий.

На участках с проведением первых приемов ППР преобладает сосновый подрост

угнетенного качества (56,9%), что связано с практически полным отсутствием изреживания в полосах (средняя полнота которых составила 0,65). Существует тенденция сосредоточения подроста к более освещенным краям оставленных полос. Подрост, находящийся на микропонижениях, в основном угнетенного качества (46,2%). Значительна доля мертвых особей (8,0% от общего количества подроста с учетом отмерших экземпляров) вследствие световой конкуренции в нижних ярусах. На микрповышениях преобладает здоровый подрост (58,1%) благодаря оптимальным условиям освещенности. Поврежденный подрост (27,1% на равнинных участках) – в основном следствие повреждения дикими животными. Обнаружена слабая отрицательная корреляционная связь между полнотой материнского древостоя и густотой подроста ( $r = -0,12$ ), а также со встречаемостью ( $r = -0,17$ ).

### Литература

1. Ковылин Н. В., Ковылина О. П. Возобновление в сосновых насаждениях Восточной Сибири // Хвойные бореальные подзоны. 2006. Т. 23, № 3. С. 96–101.
2. Бузыкин А. И. К методике учета подроста // Возобновление и формирование лесов Сибири. 1969. С. 165–168.
3. Малиновских А. А., Маленко А. А. Влияние живого напочвенного покрова на процесс естественного возобновления сосны обыкновенной после рубок в спелых и перестойных насаждениях в ленточных борах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 12 (158). С. 58–64.
4. Камышова Л. В., Кулагин А. А. Экологические особенности естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) под пологом леса в условиях Бузулукского бора // Лесной вестник. 2009. № 3. С. 9–15.
5. Беспаленко О. Н. Семеношение и возобновление сосны обыкновенной в разных лесорастительных условиях // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы IX Междунар. науч. конф. Красноярск: СибГТУ, 2012. С. 9–11.
6. Савченкова В. А., Гринько О. И. Особенности влияния уровня влажности и органического вещества в почве на формирование насаждения // Системы. Методы. Технологии. Братск, 2014. № 1 (21). С. 158–163.
7. Бачурина С. В., Залесов С. В., Кутыева Г. А. Влияние рубок обновления в сосняках на живой напочвенный покров // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 16–95.
8. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Лесоводственная эффективность рубок обновления в сосновых насаждениях Верхнеберезинского геоботанического района // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хозяйство. С. 72–75.
9. Сосновые насаждения Беларуси как потенциальные объекты для проведения рубок обновления / К. В. Лабоха [и др.] // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 2019. Вып. 79. С. 118–125.
10. Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Распределение надземной фитомассы живого напочвенного покрова по хозяйственному значению в рекреационных сосняках, пройденных рубками обновления // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2017. № 18 (267). С. 87–93.
11. Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние сосновых насаждений после первого приема рубок обновления // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (33). С. 105–109.
12. Луферов А. О. Лесоводственная эффективность естественного возобновления сосны обыкновенной при проведении постепенных рубок главного пользования // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 2019. Вып. 79. С. 135–146.
13. Gabrilavičius R., Danusevičius J., Danusevičius D. Efficiency of methods to support natural regeneration in Scots pine genetic reserves // *Biologija*, 2008. Vol. 54. No. 2. P. 134–138.
14. Wojciech Gil, Witold Kopyryk, Tadeusz Zachara. Growth dynamics of Scots pine natural regeneration under the shelter of the stand in Polish lowland – A case study Ostrów Mazowiecka // *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*, 2004. No. 46. P. 21–28.
15. Barbeito I., Fortin M. J., Montes F., Cañellas I. Response of pine natural regeneration to small-scale spatial variation in a managed Mediterranean mountain forest // *Applied Vegetation Science*. 2009. No. 12 (4). P. 488–503.

### References

1. Kovylin N. V., Kovylyina O. P. Renewal in pine plantations of Eastern Siberia. *Khvoynyye boreal'nyye podzony* [Coniferous boreal subzones], 2006, vol. 23, no. 3, pp. 96–101 (In Russian).
2. Buzykin A. I. On the method of accounting for undergrowth. *Vozobnovleniye i formirovaniye lesov Sibiri* [Renewal and forest formation of Siberia], 1969, pp. 165–168 (In Russian).
3. Malinovskikh A. A., Malenko A. A. Influence of living ground cover on the natural regeneration of Scots pine after felling in mature and overmature stands in the tape forests of the Altai Territory. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2017, no. 12 (158), pp. 58–64 (In Russian).
4. Kamyshova L. V., Kulagin A. A. Ecological features of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under the forest canopy under the conditions of the Buzuluksky pine forest. *Lesnoy vestnik* [Forest Herald], 2009, no. 3, pp. 9–15 (In Russian).

5. Bepalenko O. N. Seed and renewal of Scots pine in different forest and plant conditions. *Materialy IX Mezhdunar. nauch. konf. "Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy"* [Materials of the IX International Scientific Conference "Fruit growing, seed growing, introduction of woody plants"]. Krasnoyarsk, 2012, pp. 9–11 (In Russian).
6. Savchenkova V. A., Grinko O. I. Features of the influence of the level of moisture and organic matter in the soil on the formation of stands. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2014, no. 1 (21), pp. 158–163 (In Russian).
7. Bachurina S. V., Zalesov S. V., Kutyeva G. A. Influence of felling in pine trees on living ground cover. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 1, pp. 16–95 (In Russian).
8. Labokha K. V., Shiman D. V. Forestry efficiency of logging in the pine stands of the Verkhneberezinsky geobotanical region. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry pp. 72–75 (In Russian).
9. Labokha K. V., Larinina Yu. A., Prishchepov A. A., Lufarov A. O. Pine plantations of Belarus as potential objects for carrying out renovation felling. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forestry and silviculture], 2019, vol. 79, pp. 118–125 (In Russian).
10. Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. Distribution of aboveground phytomass of living soil cover by economic value in recreational pine forests covered by thinning. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific Bulletin of the Belgorod State University], 2017, no. 18 (267), pp. 87–93 (In Russian).
11. Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. The state of pine stands after the first stages of renovation felling. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2015, no. 1 (33), pp. 105–109 (In Russian).
12. Lufarov A. O. Silvicultural efficiency of natural regeneration of *Pinus sylvestris* when carrying out shelterwood felling. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forestry and silviculture], 2019, vol. 79, pp. 135–146 (In Russian).
13. Gabrilavičius R., Danusevičius J., Danusevičius D. Efficiency of methods to support natural regeneration in Scots pine genetic reserves. *Biologiya*, 2008, vol. 54, no. 2, pp. 134–138.
14. Wojciech Gil, Witold Kopyrk, Tadeusz Zachara. Growth dynamics of Scots pine natural regeneration under the shelter of the stand in Polish lowland – A case study Ostrów Mazowiecka. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*, 2004, no. 46, pp. 21–28.
15. Barbeito I., Fortin M. J., Montes F., Cañellas I. Response of pine natural regeneration to small-scale spatial variation in a managed Mediterranean mountain forest. *Applied Vegetation Science*, 2009, no. 12 (4), pp. 488–503.

#### Информация об авторе

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

#### Information about the author

**Lufarov Anton Olegovich** – Master of Agriculture, PhD student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anton.lufarov@tut.by

Поступила 15.10.2019

УДК 630\*228.3(476)

**В. В. Сарнацкий, С. Ю. Шустова**

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси

**О ЗАДАЧАХ ВЫРАЩИВАНИЯ ДУБРАВ БЕЛАРУСИ  
В СВЯЗИ С ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Технические, декоративные свойства древесины дуба черешчатого определяют ее высокую потребность в промышленности, а также актуальность и практическую значимость дальнейшего изучения лесообразующих особенностей этой породы с целью максимально возможного удовлетворения спроса рынка и снижения затрат на лесохозяйственное производство. Представлены краткие результаты анализа эдафо-фитоценологических внутриформационных, межформационных взаимосвязей дубрав и насаждений других пород с участием дуба, особенностей формирования структуры полога, устойчивости древостоев в связи с возрастающей интенсификацией лесопользования и антропогенно обусловленными локальными изменениями среды произрастания древесной растительности, а также периодическим экстремальным проявлением атмосферной и почвенной засухи в весенне-летний период, что привело к существенному уменьшению долевого участия дубовых древостоев в лесном фонде. Установлено, что практическое использование свойств естественного восстановления дубрав, а также проведение рубок переформирования, реконструкции, несплошных рубок главного пользования в сложившихся условиях не в полной мере обеспечивает увеличение существующей в настоящее время площади дубрав. Достижение этой цели возможно лишь путем значительного увеличения площади создаваемых культур дуба, совершенствуя при этом методы и технологии создания, формирования лесных насаждений с участием дуба, выращивания, использования и восстановления дубрав.

**Ключевые слова:** дубравы, эдафо-фитоценотический потенциал лесовыращивания, создание лесных культур дуба.

**V. V. Sarnatskiy, S. Yu. Shustova**

Institute of Experimental Botany of NAS of Belarus

**ON THE TASKS OF CULTIVATION OF OAK FORESTS OF BELARUS  
IN CONNECTION WITH THE FOREST MANAGEMENT INTENSIFICATION**

The technical and decorative properties of English oak wood determine its high demand for industry, as well as the relevance and practical importance of further studying the forest-forming features of this species in order to satisfy market demand and reduce costs for forestry production as much as possible. Brief results of the analysis of edaph-phytocenotic intraformational, interformational relationships of oak groves and other tree stands with the participation of oak, features of the formation of the canopy structure, stability of forest stands due to the increasing intensification of forest use and anthropogenic due to local changes in the growth environment of woody plants, as well as periodic extreme manifestations of atmospheric and soil drought in the spring and summer, which led to a significant decrease in the share of oak stands in the forest fund. It has been established that the practical use of the properties of the natural restoration of oak forests, as well as the conduction of reformation, reconstruction, and incomplete cutting of main use under the current conditions, does not fully ensure an increase in the currently existing area of oak forests. Achieving this goal is possible only by significantly increasing the area of oak crops being created, while improving methods and technologies for creating, forming forest stands with the participation of oak, growing, using and restoring oak forests.

**Key words:** oak forests, edaph-phytocenotic potential of forest cultivation, creation of oak forest cultures.

**Введение.** Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) – одна из наиболее ценных лесообразующих пород, древесина которой имеет импортозамещающее значение.

Суходольные (плакорные) и пойменные дубравы повсеместно произрастают в Беларуси, расположенной практически в центральной части ареала естественного распространения дуба. Результаты изучения биологии и лесообразующих свойств этой породы, особенностей создания, формирования, использования и вос-

становления дубрав, других насаждений с участием дуба в составе древостоев изложены в литературных сообщениях [1–19].

Выявлено, что в результате интенсификации лесопользования, влияния других причин (преимущественно, это хозяйственно-экономические факторы, направленные на получение прибыли от выращивания лесов в максимально короткие сроки и антропогенное изменение условий произрастания лесной растительности, приводящие к снижению устойчивости и

болезням дуба) площадь дубрав за предыдущий период более чем в 100 лет неуклонно уменьшается, несмотря на принимаемые лесохозяйственным производством усилия. В связи с необходимостью удовлетворения неизменного спроса на внутреннем и внешнем рынках древесины эта порода требует к себе особого внимания лесоводов на всех этапах создания, ухода за лесными культурами и формирования древостоев, начиная от специфики сбора и хранения желудей, выращивания посадочного материала, проведения осветлений, прочисток, прореживаний, проходных рубок, в том числе санитарных, переформирования (реконструкции) и главного пользования лесом.

Цель работы – на основе краткого анализа эдафо-фитоценологических взаимосвязей плакорных дубрав и насаждений других пород с участием дуба создать предпосылки к оценке потенциальных возможностей увеличения объемов его использования и площади, пригодной для расширения долевого участия этой породы в лесном фонде с учетом экономической, лесоводственной целесообразности и особенностей использования различных технологий создания, восстановления и выращивания лесов.

**Основная часть.** Изучаемые объекты – дубравы и насаждения с участием дуба в составе древостоев различной полноты, возраста, породного состава, происхождения и типов леса. Изложены материалы многолетнего изучения особенностей формирования и специфики существующей фитоценологической ситуации в дубравах Беларуси, подтвержденных рубкам ухода различной интенсивности и главного пользования, фитоценообразующей роли этой породы в древостое, а также результаты анализа лесоводственной эффективности создания и восстановления древостоев дуба по различным технологиям. Всего заложено 77 пробных площадей и около 1500 учетных площадок, проанализирована выборка из базы данных вывальной таксации лесов Беларуси по состоянию на 01.01.2014 г. Используются общепринятые в лесоведении, лесоводстве, лесной таксации и почвоведении, геоботанике методы исследований.

Эдафо-фитоценологический ареал произрастания дуба охватывает в той или иной мере все выделенные в условиях республики основные лесные формации (сосняки, ельники, березняки, осинники, черноольшаники, сероольшаники, липняки, ясенники, кленовики, ильмовые древостои) [3, 17–19]. Практически не встречается эта порода на сухих песчаных почвах (сосняки лишайниковый, вересковый, брусничные) и в почвенно-гидрологических условиях произрастания древесной растительности на верховых, переходных и низинных болотах (сосняк сфагновый, сосняк осоково-сфагновый, березняки болотные,

черноольшаник осоковый, черноольшаник таволговый), другие формации и типы леса (рисунок).

Биологические, лесообразующие свойства этой породы, сформированные в процессе эволюции растительного мира, предъявляют специфические, в сравнении с другими деревьями, требования к выращиванию, использованию, восстановлению и созданию дубрав, особенно в условиях интенсивного лесохозяйственного производства и развития рыночных отношений в экономике. Следует отметить, что дуб произрастает и формирует с разной мерой успешности монодоминантные, смешанные древостои в различных эдафических условиях. Наибольшей продуктивностью (бонитетом) обладают дубрава кисличная, дубрава снытевая и дубрава крапивная, растущие на свежих, влажных супесчаных или суглинистых почвах, подстилаемых суглинком или глиной, а также сырых, перегнойно-глеевых, перегнойно-карбонатных оглеенных супесчаных или суглинистых почвах с хорошей проточностью атмосферного и почвенно-грунтового увлажнения [3, 16–19].

Породный состав и структура древостоев современных дубрав сформированы различными технологиями рубок леса и последующего его восстановления. Насаждения представлены древостоями, в которых нарушена естественная структура формирования ярусов древесного полога, обусловленная преимущественно рубками леса и экологическими факторами, возможностью реализации той или иной древесной породой, в том числе и дуба, своих биологических, лесообразующих свойств в конкретных эдафических условиях и фитоценологической ситуации в том или ином возрасте древостоя.

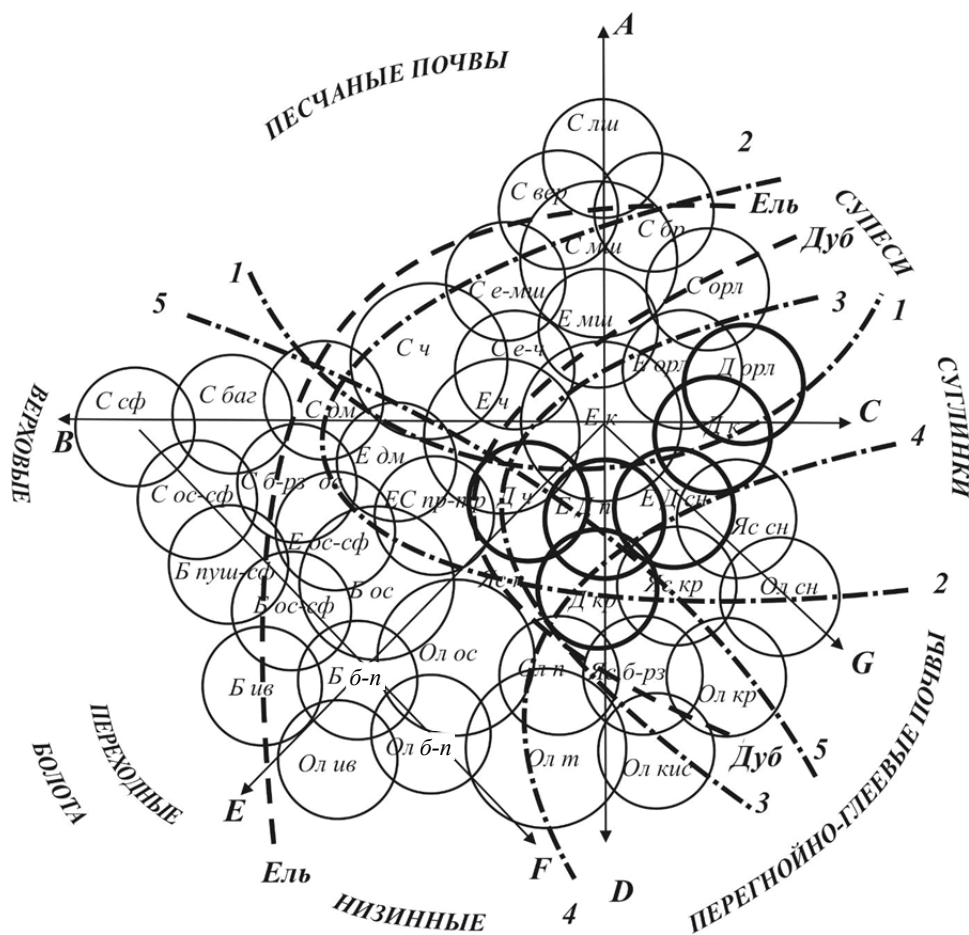
Изменение фитоценообразующей роли дуба с возрастом древостоя в разрезе геоботанического районирования Беларуси происходит по-разному. В первые два-три десятилетия негативное влияние мелколиственных пород проявляется значительно в случае отсутствия или недостаточно соответствующего ухода за дубом, а примесь других пород невелика. В последующие годы отмечается усиление позиций дуба и ели (в центральной и северной части республики). В дубовых молодняках участие дуба по запасу стволовой древесины часто не превышает 40%. В наибольшей мере увеличение доминирования дуба в старших возрастных группах выявлено в южной геоботанической подзоне широколиственно-сосновых лесов [17]. Это объясняется тем обстоятельством, что в этой подзоне ель практически не участвует в породном составе дубрав в сравнении с северным и центральным регионами, в которых она, с одной стороны, выполняет роль подгона (шубы) для дуба, а с другой – в дальнейшем становится сильным конкурентом в

борьбе за пространство, световое довольствие, влагу, элементы минерального питания и азот.

Как уже упомянуто выше, дуб в разной мере успешности произрастает в составе древостоев, в которых доминирующее положение в силу влияния разных причин занимают другие породы. В сосновых насаждениях дуб встречается начиная с единичных деревьев в сосняках мшистых, черничных и до 20–40% – в породном составе сосняков долгомошных, орляковых, кисличных в зависимости от специфики формирования почвенно-гидрологических условий произрастания, возраста и полноты древостоев. И только в условиях сосняка орлякового и сосняка кисличного продуктивность дуба в древостое может достигнуть II и реже I бонитета. В еловых древостоях –

от единичных деревьев в ельниках брусничных, мшистых, черничных и до 20–40% – в ельниках кисличных, орляковых, папоротниковых, снытевых, крапивных, приручейно-травяных, долгомошных. В условиях ельника орлякового, ельников кисличного, снытевого, крапивного, папоротникового и черничного продуктивность дуба в древостое может достигнуть I–II бонитета.

С целью увеличения площади дубрав и насаждений с участием дуба в составе древостоев с экономических, лесоводственных соображений в подобных ситуациях восстановление леса на вырубках возможно и целесообразно осуществлять путем создания культур на вырубках различных древесных пород в следующих эдафических условиях (таблица).



Обобщенная классификационная схема эдафо-фитоценологических взаимосвязей дубрав и других лесных формаций в условиях Беларуси. Сокращения:

- эдафические ареалы 1–1 – песков; 2–2 – супесей; 3–3 – суглинков; 4–4 – перегнойно-глеевых почв; 5–5 – торфяно-болотных почв; фитоценотические ареалы: Ель–Ель – ели; Дуб–Дуб – дуба; Е – ельник; С – сосняк; Д – дубрава; Яс – ясенник; Б – березняк; Ол – ольс; лш – лишайниковый; вер – вересковый; бр – брусничные; е-мш – елово-мшистый; е-ч – елово-черничные; мш – мшистые; орл – орляковые; ч – черничные; к – кисличные; сн – снытевые; п – папоротниковые; кр – крапивные; пр-тр – приручейно-травяные; т – таволговые; баг – багульниковые; дм – долгомошные; ос – осоковые; ос-сф – осоково-сфагновые; пуш-сф – пушицево-сфагновые; бп – болотно-папоротниковые; б-рз – болотно-разнотравные; ос-сф – осоково-сфагновые; ив – ивняковые [3, с. 182]



Потенциально пригодные эдафо-фитоценотические условия для существенного увеличения площади дубрав, а следовательно, и поставок древесины дуба на рынок имеются. Площадь приспевающих и спелых лесов, пригодных для создания культур дуба и насаждений с его уча-

стием, превышает 800 тыс. га, что составляет основу лесокультурного фонда и позволит в течение ближайших 20–30 лет достигнуть долевого участия только дубрав в составе лесного фонда 11–15%, а насаждений с его участием в древостоях более 30%.

#### Площадь лесных земель, потенциально пригодных для создания лесных культур дуба

Лесная формация, тип леса, эдафотоп, бонитет	Лесопокрытая площадь		Площадь приспевающих и спелых древостоев	
	тыс. га	%	тыс. га	%
1	2	3	4	5
<b>Сосняки</b>				
орляковый, В <sub>2</sub> , I (Iб, Ia)	765,2	30,1	84,0	10,6
кисличный, С <sub>2</sub> , Ia (Iб, I)	199,5	7,9	46,4	5,8
<i>Итого</i>	<i>964,7</i>	<i>38,0</i>	<i>130,4</i>	<i>16,4</i>
<b>Ельники</b>				
орляковый, С <sub>2</sub> , II (I, Iб, Ia)	81,4	3,2	5,8	0,7
кисличный, Д <sub>2</sub> , I (Ia)	408,5	16,0	62,8	7,8
снытевый, Д <sub>3</sub> , Ia (I)	20,9	0,8	2,4	0,3
крапивный, Д <sub>4</sub> , Ia (I)	2,4	0,1	0,5	0,1
папоротниковый, С <sub>4</sub> , I (Ia, II)	21,7	0,9	4,9	0,6
<i>Итого</i>	<i>534,9</i>	<i>21,0</i>	<i>76,4</i>	<i>9,5</i>
<b>Березняки (повислоберезовые, производные от еловых и дубовых лесов)</b>				
кисличный, Д <sub>2</sub> , I (Iб, Ia, II)	168,8	6,7	123,8	15,6
черничный, С <sub>3</sub> , I (Ia, II)	98,3	3,9	61,9	7,7
снытевый, Д <sub>3</sub> , Ia (Iб)	43,7	1,7	29,1	3,6
крапивный, Д <sub>4</sub> , I (Iб, Ia)	2,2	0,1	13,9	1,7
папоротниковый, С <sub>4</sub> , I (Ia, II)	118,0	4,7	136,1	17,0
<i>Итого</i>	<i>431,0</i>	<i>17,1</i>	<i>364,8</i>	<i>45,6</i>
<b>Осинники (производные от еловых и дубовых лесов)</b>				
орляковый, С <sub>2</sub> , I (Iб, Ia)	3,2	0,1	1,3	0,2
кисличный, Д <sub>2</sub> , Ia (Iб, I)	46,2	1,8	26,0	3,2
снытевый, Д <sub>3</sub> , Ia (Iб, I)	37,9	1,5	18,7	2,3
рапивный, Д <sub>4</sub> , I (Iб, Ia)	5,4	0,2	2,3	0,3
<i>Итого</i>	<i>92,7</i>	<i>3,6</i>	<i>48,3</i>	<i>6,0</i>
<b>Черноольшаники</b>				
кисличный, Д <sub>2</sub> , I (Iб, Ia)	14,2	0,6	9,6	1,2
снытевый, Д <sub>3</sub> , I (Ia)	22,3	0,9	13,0	1,6
крапивный, Д <sub>4</sub> , Ia (Iб, I)	85,1	3,4	52,3	6,5
<i>Итого</i>	<i>121,6</i>	<i>4,9</i>	<i>74,9</i>	<i>9,3</i>
<b>Сероольшаники (производные от еловых лесов)</b>				
кисличный, Д <sub>2</sub> , II (Ia, I)	17,1	0,7	5,3	0,7
снытевый, Д <sub>3</sub> , I (Ia, II)	74,4	2,9	18,0	2,2
папоротниковый, С <sub>4</sub> , I (Ia, II)	39,9	1,6	8,0	1,0
<i>Итого</i>	<i>131,4</i>	<i>5,2</i>	<i>31,2</i>	<i>3,9</i>
<b>Дубравы</b>	<b>213,5</b>	<b>8,4</b>	<b>62,6</b>	<b>7,8</b>
<b>Кленовники</b>	<b>6,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,0</b>
<b>Ясенники</b>	<b>25,7</b>	<b>1,0</b>	<b>3,9</b>	<b>0,5</b>
<b>Грабняки</b>	<b>7,6</b>	<b>0,3</b>	<b>6,0</b>	<b>0,7</b>
<b>Липняки</b>	<b>3,9</b>	<b>0,2</b>	<b>2,8</b>	<b>0,3</b>
<i>Итого</i>	<i>257,1</i>	<i>10,2</i>	<i>75,6</i>	<i>9,3</i>
<b>Всего</b>	<b>2533,4</b>	<b>100,0</b>	<b>801,6</b>	<b>100,0</b>

*Примечание.* Общая покрытая лесом площадь Беларуси по состоянию на 01.01.2014 г. – 8154,4 тыс. га. Потенциальная площадь под создание культур дуба – 2533,4 тыс. га, или 31,1% всех лесов, без учета площади имеющихся дубрав – 2319,9 тыс. га, или 28,5% всех лесов (с учетом класса бонитета и эдафотоп). Площадь приспевающих и спелых лесов, пригодных для создания культур дуба I–II бонитета, – 801,6 тыс. га, или 9,8% всех лесов.



Стратегический план развития лесного хозяйства предусматривал [7, с. 7] увеличение доли дубрав в лесном фонде республики от 3,6% лесопокрываемой площади в 1998 г. до 11% с ежегодным созданием не менее 4 тыс. га лесных культур дуба. С экономической точки зрения культуры наиболее целесообразно создавать в условиях произрастания, обеспечивающих формирование дубовых древостоев не ниже II класса бонитета (по дубу). В реальности же за предыдущий период времени более чем 100 лет [11, с. 63] участие дубрав в составе лесного фонда уменьшилось с 8,7% в 1901 г. до 3,4% в настоящее время и эта тенденция продолжает сохраняться.

**Заключение.** Анализ эдафо-фитоценологических внутрiformационных, межформационных взаимосвязей дубрав и других насаждений, а также результаты оценки эффективности проведенных лесохозяйственных мероприятий по увеличению существующей площади древостоев дуба в лесных массивах с его участием поз-

волили установить, что для достижения этой цели имеется реальная возможность и крайне насущная необходимость увеличить площадь создаваемых культур дуба до 4–5 тыс. га в год. Практическая реализация поставленной задачи в течение ближайших 20–30 лет будет способствовать достижению долевого участия только дубрав в составе лесного фонда до 11–15%, а насаждений с его участием в древостоях более 30%. Кроме этого, следует продолжить совершенствование методов сбора и хранения желудей, выращивания семян, создания лесных культур дуба и насаждений с его участием, ухода за ними, технологий формирования, рубок и восстановления дубрав, а также реконструкции (переформирования) древостоев с участием этой ценной древесной породы в условиях интенсивного лесопользования. В противном случае прогнозируется дальнейшее уменьшение площади дубрав в породной структуре древостоев лесного фонда.

### Литература

1. Багинский В. Ф. Лесопользование в Беларуси. Минск: Беларуская навука, 1996. 367 с.
2. Анализ структуры древесных ценозов / А. И. Бузыкин [и др.]. Новосибирск: Наука, 1985. 95 с.
3. Гельтман В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1982. 326 с.
4. Гвоздев В. К., Волкович А. П. Современное состояние и прогноз лесовосстановления еловых вырубок после сплошных санитарных рубок // Труды БГТУ. Сер. I: Лесное хозяйство. 1998. Вып. VI. С. 87–89.
5. Гвоздев В. К., Хохлов А. А. Особенности роста и продуктивность насаждений искусственного происхождения местных и интродуцированных древесных видов // Труды БГТУ. 2016. № 1: Лесное хозяйство. С. 106–109.
6. Демаков Ю. П., Нуреева Т. В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. № 4. С. 274–285.
7. Зорин В. П. Воспроизводство и повышение продуктивности дубрав // Дуб – порода третьего тысячелетия: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 1998. Вып. 48. С. 5–9.
8. Кожевников А. М., Решетников В. Ф., Колодий П. В. Дубравы Беларуси: состояние, проблемы и пути улучшения ведения хозяйства в них // Дуб – порода третьего тысячелетия: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 1998. Вып. 48. С. 40–49.
9. Носников В. В. Лесовосстановление в Республике Беларусь с учетом зарубежного опыта // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 145–148.
10. Потапенко А. М. Анализ продуктивности дубрав Белорусского Полесья в различных лесорастительных условиях // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 2018. Вып. 78. С. 187–193.
11. Потапенко А. М., Усеня В. В. Лесовозобновительный потенциал дубрав Белорусского Полесья // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2. С. 63–68.
12. Решетников В. Ф. Перспективы дальнейшего улучшения воспроизводства и повышения продуктивности дубрав Беларуси // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 2018. Вып. 78. С. 261–266.
13. Решетников В. Ф., Сторожишина К. М. Опыт реконструкции малоценных насаждений созданием лесных культур дуба черешчатого бороздами и площадками // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 87–90.
14. Решетников В. Ф., Сторожишина К. М. Состояние и перспективы реконструкции малоценных насаждений созданием лесных культур дуба черешчатого бороздами и площадками // Труды БГТУ. 2016. № 1: Лесное хозяйство. С. 56–60.

15. Рожков Л. Н. Современные тенденции управления лесами Беларуси // Устойчивое лесопользование. 2016. № 3. С. 16–23.

16. Сарнацкий В. В., Качановский И. М. Лесоводственно-таксационные характеристики древостоев с участием дуба черешчатого в южной части Беларуси // Дуб – порода третьего тысячелетия сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 1998. Вып. 48. С. 259–261.

17. Шустова С. Ю. Зонально-типологические особенности формирования дубрав Беларуси в условиях антропогенного воздействия: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Ин-т экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси. Минск, 2005. 20 с.

18. Юркевич И. Д. Дубравы Белорусской ССР и их восстановление. Минск: Изд-во Академии наук БССР, 1960. 271 с.

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

### References

1. Baginskiy V. F., Esimchik L. D. *Lesopol'zovaniye v Belarusi* [Forest management in Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1996. 367 p.

2. Buzykin A. I., Gavrikov V. L., Sekretenko O. N., Khlebopros R. G. *Analiz struktury drevesnykh tsenozov* [Analysis of the structure of wood cenoses]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 95 p.

3. Gel'tman V. S. *Geograficheskiy i tipologicheskiy analiz lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geographical and typological analysis of forest vegetation in Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 326 p.

4. Gvozdev V. K., Volkovich A. P. The current state and forecast of reforestation of spruce felling after clear felling. *Trudy BGTU* [Proceeding of BGTU], series I, Forestry, 1998, issue VI, pp. 87–89 (In Russian).

5. Gvozdev V. K., Khokhlov A. A. Features of growth and productivity of artificial stands of local and introduced tree species. *Trudy BGTU* [Proceeding of BGTU], 2016, no. 1: Forestry, pp. 106–109 (In Russian).

6. Demakov Yu. P., Nureeva T. V. Features of evolution of a tree size rank in coenopopulations of Scotch pine. *Lesovedeniye* [Forest science], 2019, no. 4, pp. 274–285 (In Russian).

7. Zorin V. P. Reproduction and productivity increase of oak forests. *Dub – poroda tret'yego tysyacheletiya: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Oak – breed of the third millennium: Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forestry Institute], 1998, vol. 48, pp. 5–9 (In Russian).

8. Kozhevnikov A. M., Reshetnikov V. F., Kolodiy P. V. Oak forests of Belarus: state, problems and ways to improve farming in them. *Dub – poroda tret'yego tysyacheletiya: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Oak – breed of the third millennium: Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forestry Institute], 1998, vol. 48, pp. 40–49 (In Russian).

9. Nosnikov V. V. Reforestation in the Republic of Belarus, taking into account foreign experience. *Trudy BGTU* [Proceeding of BGTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 145–148 (In Russian).

10. Potapenko A. M. Analysis of the productivity of oak forests of the Belarusian Polesie in various forest conditions. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Problems of forestry and forestry: Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forestry Institute], 2018, vol. 78, pp. 187–193 (In Russian).

11. Potapenko A. M., Usenya V. V. Forest renewal potential of jar groves of Belarusian Polesia. *Trudy BGTU* [Proceeding of BGTU], series 1, Forestry. Environmental management. Reprocessing of renewable resource, 2018, no. 2, pp. 63–68 (In Russian).

12. Reshetnikov V. F. Prospects for further improvement of reproduction and productivity of oak groves in Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Problems of forestry and forestry: Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forestry Institute], 2018, vol. 78, pp. 261–266 (In Russian).

13. Reshetnikov V. F., Storozhishina K. M. Experience of carrying out reconstruction of invaluable plantings by method of creation of forest cultures of the oak with furrows and grounds. *Trudy BGTU* [Proceeding of BGTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 87–90 (In Russian).

14. Reshetnikov V. F., Storozhishina K. M. State and prospects of reconstruction of invaluable plantation of the redunculate oak forest cultures in forestries Belarus. *Trudy BGTU* [Proceeding of BGTU], 2016, no. 1: Forestry, pp. 56–60 (In Russian).

15. Rozhkov L. N. Current trends in forest management in Belarus. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2016, no. 3, pp. 16–23 (In Russian).

16. Sarnatskiy V. V., Kachanovskiy I. M. Silvicultural and taxation characteristics of stands with the participation of English oak in the southern part of Belarus. *Dub – poroda tret'yego tysyacheletiya: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Oak – breed of the third millennium: Collection of Scientific Papers NAS of Belarus, Forestry Institute], 1998, vol. 48, pp. 259–261 (In Russian).

17. Shustova S. Yu. *Zonal'no-tipologicheskiye osobennosti formirovaniya dubrav Belarusi v usloviyakh antropogenogo vozdeystviya. Avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Zonal-typological features of the formation of oak groves in Belarus under conditions of anthropogenic impact. Abstract of thesis cand. of biol. sci.]. Minsk, 2005. 20 p.

18. Yurkevich I. D. *Dubravyy Belorusskoy SSR i ikh vosstanovleniye* [Oak forests of the Belarusian SSR and their restoration]. Minsk, Akademii nauk BSSR Publ., 1960. 271 p.

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

#### **Информация об авторах**

**Сарнацкий Владимир Валентинович** – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории продуктивности и устойчивости растительных сообществ. Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: sarnatski1@tut.by.

**Шустова Светлана Юрьевна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоботаники и картографии растительности. Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: svshust@tut.by.

#### **Information about the author**

**Sarnatski Vladimir Valentinovich** – DSc (Biology), Chief Researcher of the Laboratory of the Productivity and Stability of Plant Communities. Institute of Experimental Botany of NAS of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus), e-mail: sarnatski1@tut.by

**Shustova Svetlana Yur'yevna** – PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Geobotany and Cartography of Vegetation. Institute of Experimental Botany of NAS of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svshust@tut.by

*Поступила 04.10.2019*

УДК 581.9:504.03(477.64-2)

**С. О. Яковлева-Носар<sup>1</sup>, В. П. Бессонова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Запорожский национальный университет (Украина)<sup>2</sup>Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет (Украина)**ДЕНДРОФЛОРА БАЙРАЧНОГО ЛЕСА БАЛКИ ГЕНЕРАЛКА  
(ЗОНА РЕКРЕАЦИИ г. ЗАПОРОЖЬЕ)**

В статье приведены данные о видовом составе дендрофлоры балки Генералка, расположенной на о. Хортица (зона рекреационной деятельности туристов и жителей г. Запорожье), при этом зарегистрировано 39 видов древесных растений, относящихся к 30 родам и 17 семействам. Установлено, что наибольшим видовым насыщением характеризуется семейство *Rosaceae* Adans. В составе дендрофлоры байрачного леса аборигенные виды составляют 73,7%, интродуцированные – 26,3%. Наибольшая доля участия среди интродуцированных видов принадлежит породам североамериканского происхождения (5 видов, или 50,0% от всего количества интродуцентов). Интродуценты представлены преимущественно *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudoacacia*, *Morus alba*. Основными лесообразующими аборигенными породами насаждения являются *Acer campestre*, *A. tataricum*, *Quercus robur*, *Ulmus carpiniifolia*, *U. laevis*, *Fraxinus excelsior*. Установлен породный состав верхних ярусов древостоя и подлеска, произрастающих на территории различных морфологических частей балки. В фитоценозе отмечается смена эдификаторных пород видами-ассектаторами. Байрачный лес имеет значительный ресурсный потенциал, включая медоносные и витаминные растения. В составе насаждения обнаружены виды с высокой инвазионной способностью (*Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudoacacia*, *Parthenocissus quinquefolia*).

**Ключевые слова:** степная зона, фиторазнообразие, древесная растительность, таксационные характеристики.

**S. O. Yakovlieva-Nosar<sup>1</sup>, V. P. Bessonova<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Zaporizhzhia National University (Ukraine)<sup>2</sup>Dnipro State Agrarian and Economic University (Ukraine)**ARBORESCENS PLANTS OF THE BEAM GENERALKA  
(RECREATION ZONE OF ZAPORIZHZHIA)**

The data on the species composition of the arborescence plants of the Beam Generalka, that located on island Khortytysya (zone of recreational activities of tourists and residents of Zaporizhzhia) is shown. 39 species of woody plants belonging to 30 genera and 17 families are registered. It has been established that the *Rosaceae* Adans family is characterized by the highest species saturation. In the composition of the dendroflora of the bare forest, the aboriginal species make up 73.7%, the introduced species – 26.3%. The largest part of participation among introduced species belongs to breeds of North American origin (5 species, or 50.0% of the total number of introducents). Introducers are represented mainly by *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudoacacia*, *Morus alba*. The main forest-forming indigenous species are *Acer campestre*, *A. tataricum*, *Quercus robur*, *Ulmus carpiniifolia*, *U. laevis*, *Fraxinus excelsior*. The species composition of the upper tiers of the stand and undergrowth growing on the territory of various morphological parts of the beam has been established. In the phytocenosis, the change of edificatory rocks by species-observers is noted. Forest of the beam has a significant resource potential, including honey and vitamin plants. Species with a high invasive ability (*Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudoacacia*) and recognized as invasive (*Parthenocissus quinquefolia*) are found in the plantings.

**Key words:** steppe zone, phytodiversity, arborescence plants, taxation characteristics.

**Введение.** Остров Хортица – жемчужина не только Запорожского региона, но и национальное достояние Украины. Хортица – не только форпост украинского казачества, он славится достаточно большим видовым составом биоты, а также наличием разнообразных растительных сообществ и ассоциаций. На территории острова располагается сеть залесенных естественным путем балок. Байрачные леса – уникальное

явление для степной зоны, представленное в Запорожской области особым географическим вариантом – лесами порожистой части Днепра [1, 2]. Ряд авторов [3] называют естественные байрачные леса «загадочным феноменом, природной тайной», несмотря на то, что в научной литературе приведены различные гипотезы их происхождения. Роль байрачных лесов многогранна: климатическая, почвозащитная, агротех-

ническая. Их ценность в мелиоративном аспекте неоднократно подчеркивалась в работах отечественных и европейских ученых [4–6]. Лесные насаждения байраков являются своеобразным рефугиумом для фауны, в них произрастают виды разной фитоценотической принадлежности, часто редкие и эндемичные. Также к числу их своеобразных, ярко выраженных характеристик следует отнести черноземный тип почвообразования и морфологию лесных подстилок.

Лесная растительность байраков вносит элемент разнообразия в естественные ландшафты юго-востока страны, что существенно повышает их эстетическую привлекательность для местного населения и туристов. В связи с этим покрытые лесом балки подвергаются активному рекреационному прессингу, вследствие чего происходит деградация лесных экосистем байраков, внедрение в них антропофитов и инвазионных видов, включая интродуцированные. Но в соответствии с преамбулой Закона «Про природно-заповідний фонд України» подобные виды нарушают экологический баланс автохтонных природных комплексов [7, 8]. Возникает необходимость проведения регулярных исследований природных растительных комплексов и динамики распространения в них чужеродных видов. Вместе с тем на территории балок, к числу которых относится Генералка, сохранились очаги природных дубовых лесов, нуждающихся в охране и бережном отношении. Поэтому актуальной является информация о состоянии дендрофлоры байрака Генералка для создания банка данных, что повысит эффективность и оперативность мониторинговых мероприятий.

В связи с вышеизложенным целью нашей работы является изучение видового состава и состояния дендрофлоры балки Генералка в условиях рекреации.

**Основная часть.** Исследования проводились в байрачном лесу балки Генералка, расположенной на острове Хортица, который входит в рекреационную сферу города Запорожье. Атракторность балки для рекреантов возрастает ввиду ее удобного положения относительно дорожной сети: она находится на расстоянии 10–15-минутной пешеходной доступности от центральной дороги, связывающей Левобережную и Правобережную части г. Запорожье, а также от железнодорожной станции «Запорожская Сечь». Устьевая часть балки заканчивается песчаным пляжем, недалеко от которого, в трещинах гранитных обнажений, протекает родник. Здесь оборудовано место для набора воды. На остепненных склонах балки и лесных опушках произрастает много видов лекарственных растений и красивоцветущих представителей степной и гранитно-петрофитной флороцено-

тических групп, которые отчуждаются отдыхающими. Таким образом, территория балки подвергается транзитной, бивуачной, собирательной, а также внедорожной формам рекреации.

Балка расположена в подзоне разнотравно-типчакково-ковыльной степи (южная часть степной зоны) (рисунок).



Картосхема территории исследования  
(<https://www.google.com.ua/maps/>)  
(координаты крайних точек  
47°83'06,1" N 35°06'73,5 E;  
47°82'67,9 N 35°06'57,8 E)

Исследования проводились маршрутным методом на основе биогеоценотического принципа [9, 10]. Собранные растения гербаризировали по общепринятой методике [11]. Видовой состав дендрофлоры определяли согласно «Определителю высших растений Украины» [12], а также используя справочные издания [13].

В результате проведенных на территории балки Генералка исследований выявлено 39 видов древесных растений, относящихся к 30 родам и 17 семействам (табл. 1).

Наибольшим количеством видов представлены семейства *Rosaceae* (10), *Aceraceae*, *Fabaceae* и *Ulmaceae* (по 4 вида); лишь одним видом – семейства *Berberidaceae*, *Cannabaceae*, *Caprifoliaceae*, *Cornaceae*, *Elaeagnaceae*, *Fagaceae*, *Moraceae*, *Sambucaceae* и *Vitaceae*.

Среди жизненных форм преобладают деревья, составляя 48,7% от общего количества видов. Доля участия кустарников в составе древостоя – 41,1%. Такие виды, как *Acer tataricum* и *Elaeagnus angustifolia*, являются «переходными», произрастая на территории балки как в форме деревьев, так и кустарников. Внеярусная древесная растительность представлена двумя видами (*Humulus lupulus* и *Parthenocissus quinquefolia*).

Таблица 1

**Таксономический список  
дендрофлоры балки Генералка**

Вид	Первичный ареал
<i>Acer campestre</i> L.	Аб.
<i>A. platanoides</i> L.	Аб.
<i>A. negundo</i> L.	Северная Америка
<i>A. tataricum</i> L.	Аб.
<i>Berberis vulgaris</i> L.	Аб.
<i>Cannabaceae</i> Martinov	
<i>Humulus lupulus</i> L.	Аб.
<i>Caprifoliaceae</i> Vent.	
<i>Lonicera tatarica</i> L.	Европа, Восточная Сибирь, Средняя Азия
<i>Euonymus europaea</i> L.	Аб.
<i>E. verrucosa</i> Scop.	Аб.
<i>Cornaceae</i> Link	
<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz	Европа
<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	Средиземноморье, Азия
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	Северная Америка
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Wołoszcz.) Klásková	Аб.
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Северная Америка
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Северная Америка
<i>Quercus robur</i> L.	Аб.
<i>Morus alba</i> L.	Восточный Китай
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Аб.
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Аб.
<i>Rhamnus cathartica</i> L.	Аб.
<i>Amygdalis nana</i> L.	Аб.
<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	Горные леса Тянь-Шаня
<i>Cerasus fruticosa</i> (Pall.) G. Woron.	Аб.
<i>C. avium</i> (L.) Moench	Аб.
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Аб.
<i>Malus domestica</i> Borkh.	Южный Казахстан, Киргизия (Предгорье Алатау)
<i>Prunus spinosa</i> L.	Аб.
<i>Pyrus communis</i> L.	Аб.
<i>Rosa canina</i> L.	Аб.
<i>Spiraea hypericifolia</i> L.	Аб.
<i>Populus nigra</i> L.	Аб.
<i>P. alba</i> L.	Аб.
<i>Salix alba</i> L.	Аб.
<i>Sambucus nigra</i> L.	Аб.
<i>Ulmus carpinifolia</i> Rupp. ex Suckow	Аб.
<i>U. laevis</i> Pall.	Аб.
<i>U. pumila</i> L. [ <i>U. pinnato- ramosa</i> Dieck. ex Koehne]	Азия
<i>U. scabra</i> Mill.	Аб.
<i>Parthenocissus quinquifolia</i> (L.) Planch.	Северная Америка

Примечание. Аб. – аборигенный вид.

В составе лесной растительности балки Генералка присутствуют 73,7% аборигенных и 26,3% интродуцированных видов. Из числа интродуцентов 5 видов (50% от их количества) – североамериканского происхождения.

Исследование дендрофлоры балки Широкая, также расположенной на о. Хортица, свидетельствует о ее большем видовом разнообразии. На территории байрака произрастает 54 вида древесных растений, относящихся к 26 семействам, среди которых 2 вида – из отдела *Pinophyta*. Наличие большого количества интродуцированных видов (51,9% от общего количества) в основном связано с их использованием для озеленения территории санатория-профилактория Запорожского титано-магниевого комбината и прилегающей к ней части балки. При этом доля участия североамериканских видов составляет 39,3% от всего количества экзотов [14].

В составе древостоя байрачного леса балки Генералка наиболее многочисленными являются такие породы, как *Acer campestre*, *A. tataricum*, *Quercus robur*, *Ulmus carpinifolia*, *U. laevis*, *Fraxinus excelsior*.

Несмотря на то, что ранее господствующей породой в балках о. Хортица был *Quercus robur* [15], ныне его популяция немногочисленна и представлена экземплярами семенного происхождения. Возобновление *Quercus robur* отмечается в разрывах полога («окнах»), вдоль тропинки в тальвеге и на опушке леса, произрастающего на склоне северо-западной экспозиции. Самосев и подрост этого лесообразующего вида сильно поражены мучнистой росой. Отсутствие *Quercus robur* в устье балки можно связать с произрастанием в этой ее части *Fraxinus excelsior*, а также конкуренцией за ресурсный потенциал территории.

Ряд европейских ученых среди факторов, приводящих к неудовлетворительной возобновительной способности *Q. robur*, также называют сильную конкуренцию его самосева с обильным подростом теневыносливых пород (граб, клен, липа и др.) [16, 17]. По итогам исследований, проведенных в лесных насаждениях урочища «Острасьевы яры» Белгородской области, зафиксировано наличие подроста пяти широколиственных пород: *Acer campestre*, *A. platanoides*, *A. tataricum*, *Tilia cordata* и *Ulmus scabra*. Как подчеркивают авторы, подрост *Q. robur*, несмотря на значительное количество взрослых деревьев, под пологом байрачного леса обнаружен не был [18].

Для дубовых насаждений Украины, в частности расположенных в лесостепной зоне, отмечается увеличение периода между семенными годами. В последние годы он составил 9–10,

иногда – даже 12 лет, что также отрицательно сказывается на природном возобновлении *Q. robur* [19].

Ценопопуляция *Ulmus carpinifolia* представлена значительным количеством ослабленных особей со следами повреждений ствола антропогенного характера. Это, в свою очередь, явилось благодатной почвой для инвазий патогенов. Возобновление породы является более-менее успешным лишь в тальвеге балки: в этой ее части прослеживается накопление имматурных особей. Однако следует отметить отсутствие проростков – своеобразного резерва восстановления популяции в стрессовых условиях, что можно связать с активной рекреационной деятельностью в тальвеге байрака.

Основная масса особей *Ulmus laevis* располагается по тальвегу балки, ближе к устьевой ее части. Здесь же концентрируются все экземпляры прегенеративной фракции возрастного спектра. Большая их часть – порослевого происхождения вследствие периодических рубок, производимых рекреантами и населением. *U. laevis* относится к категории антропоотолерантных видов, что облегчает его существование в условиях рекреационного прессинга и предотвращает деградацию ценопопуляции.

Как отмечают И. А. Зайцева с соавторами [20], в целом наблюдается старение ценопопуляций этих видов рода *Ulmus*. Несмотря на полночленность возрастных спектров, приходится констатировать их неудовлетворительное природное возобновление в условиях изучаемого фитоценоза. Построенные авторами размерные спектры характеризуют древостой генеративной части популяции *Ulmus carpinifolia* как перестойный, а *U. laevis* – как старый.

Большая часть популяции *Acer campestre* приурочена к склону юго-восточной экспозиции, на котором наблюдается скученный характер расположения его особей. Под пологом материнских экземпляров произрастают скопления самосева и, в меньшей степени, – подростки этой породы. Наличие самосева с высоким обилием можно объяснить уменьшением мощности лесной подстилки в результате рекреационной деятельности.

Особи *Acer tataricum* встречаются в верховье балки, а также принимают участие в формировании опушки байрачного леса на склоне северо-западной экспозиции, мозаично произрастают в тальвеге балки и куртинами – в ее устьевой части. Отмечается довольно успешное возобновление этой породы в условиях рекреационного леса.

Детальное изучение состояния ценопопуляций обоих видов рода *Acer* в условиях байрачного леса балки Генералка свидетельствует о

том, что *Acer campestre* представлен многочисленными экземплярами, имеющими незначительные механические повреждения, а популяция в целом имеет признаки старения. В то же время популяция *A. tataricum* характеризуется высоким потенциалом природного возобновления, а показатели жизнестойкости особей – выше таковых для ценопопуляции *A. campestre*. Авторы [21] пришли к выводу о потенциальной возможности ценопопуляций этих видов к самоподдержанию. Их старение исследователи связывают с ликвидацией отдыхающими молодых особей кленов.

Обобщая результаты наших материалов и более ранние исследования [21, 22], можно утверждать, что в ходе нарушения нормального оборота поколений в популяциях основных эдификаторов (*Quercus robur*, *Ulmus carpinifolia*, *U. laevis* и др.) протекает последовательный процесс формирования фитоценоза с участием наиболее теневыносливых видов-ассектаторов (*Acer campestre* и *A. tataricum*).

На склоне северо-западной экспозиции произрастают заросли *Prunus spinosa*, имеющие не только мелиоративное значение, но и являющиеся своеобразным убежищем для зоо- и орнитофауны.

Ценопопуляция такого характерного для байрачных лесов вида, как *Pyrus communis*, по большей части представлена старовозрастными особями и малочисленна. Наибольшее их количество сосредоточено на границе балки (на склоне северо-западной экспозиции) и искусственных насаждений, находясь в угнетенном состоянии.

Для определения таксационных характеристик насаждений балки ее территория была разделена на такие морфологические элементы, как склоны северо-западной и юго-восточной экспозиции, тальвег и устье. Это обусловлено не только отличиями лесорастительных условий, но и степенью рекреационной нагрузки, что, как указывалось выше, может способствовать или препятствовать природному возобновлению пород, а также влиять на их состояние. Подобные элементы аналогичны лесотаксационным выделам.

Формула состава древостоя склона северо-западной экспозиции 4Клт3Гр2ДЯ, ед. Вш. Наибольшую высоту имеют деревья дуба черешчатого (12 м), их средний диаметр составляет 22 см (табл. 2). Полнота древостоя 0,6. Класс бонитета III. Площадь выдела 5 га.

Состав древостоя, произрастающего на склоне юго-восточной экспозиции, описывается формулой 6Клп3ВшГр, ед. Шб. Наибольшую высоту имеют деревья вяза шершавого (12 м), их средний диаметр составляет 20 см (табл. 3). Полнота древостоя 0,7. Класс бонитета III. Площадь выдела 4 га.



В тальвеге отмечается преобладание генеративных особей вяза шершавого (средняя высота 15 м, средний диаметр 28 см) и подростя ясеня обыкновенного. Встречаются единичные экземпляры подростя дуба черешчатого, пораженные мучнистой росой.

Таблица 2

**Таксационные характеристики древесных пород склона северо-западной экспозиции**

Порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Запас, м <sup>3</sup>	
			на выдел	на 1 га
Клен татарский	6	12	100	20
Дуб черешчатый	12	22	51	10
Груша обыкновенная	8	20	76	15
Ясень обыкновенный	9	14	25	5
<i>Всего</i>			252	50

Таблица 3

**Таксационные характеристики древесных пород склона юго-восточной экспозиции**

Порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Запас, м <sup>3</sup>	
			на выдел	на 1 га
Клен полевой	8	18	122	31
Вяз шершавый	12	20	60	15
Груша обыкновенная	7	16	120	30
<i>Всего</i>			202	76

Насаждение, произрастающее в устье балки, имеет состав ЗЯЗВг2ВшКяТч. Наибольших размеров достигают вяз шершавый (средняя высота 12 м, средний диаметр 25 см) и клен ясенелистный (соответственно, 10 м и 16 см). Полнота древостоя 0,6. Класс бонитета II.

Подлесок байрачного леса в основном формируют *Euonymus europaea*, *E. verrucosa*, *Sambucus nigra*, *Ligustrum vulgare* и *Rhamnus cathartica*. Также встречаются отдельные особи *Berberis vulgaris* и *Crataegus monogyna*, причем последний выходит из-под полога леса на остепненные участки. На склоне северо-западной экспозиции, активно посещаемом рекреантами, многие экземпляры *Crataegus monogyna* имеют неудовлетворительное санитарное состояние.

Со стороны склона балки северо-западной экспозиции, по другую сторону грунтовой дороги, проложенной рекреантами, произрастают искусственные защитные насаждения, в состав которых входят *Quercus robur*, *Robinia pseudoacacia*, *Gleditsia triacanthos*, *Acer*

*platanoides* и *A. negundo*. На территории балки отмечается пока еще немногочисленное природное возобновление внедрившихся из этих насаждений *Robinia pseudoacacia*, *Gleditsia triacanthos*, *Acer platanoides* и *A. negundo*.

Подобного рода насаждения имеют место и на противоположной стороне балки, также обрамленной грунтовой дорогой. В их состав, помимо уже указанных пород, входят *Lonicera tatarica* и *Caragana arborescens*. Единичные экземпляры *Lonicera tatarica* уже внедрились под полог природного насаждения.

В устьевой части, в непосредственной близости к воде, произрастают генеративные растения *Populus nigra*, активно размножающиеся вегетативным путем, а также особи *Amorpha fruticosa*.

Опушку на остепненных участках склона северо-западной экспозиции балки формирует *Spiraea hypericifolia* – вид, находящийся в затухающей части своего ареала обитания.

Ряд видов дендрофлоры байрачного леса представляет определенную народнохозяйственную ценность. Так, среди древесных пород к группе витаминных растений относятся *Armeniaca vulgaris*, *Berberis vulgaris*, *Morus alba*, *Rosa canina*, к медоносным – *Acer tataricum*, *Robinia pseudoacacia*, *Armeniaca vulgaris*, *Quercus robur*, *Amorpha fruticosa*, *Crataegus monogyna*, *Malus domestica*, *Prunus spinosa*, *Pyrus communis*, *Cerasus fruticosa*.

За 22-летний период изучения видового состава и состояния растительности балки Генералка нами отмечены случаи возникновения локальных пожаров на склоне юго-восточной экспозиции. Вследствие этого страдала степная растительность, а также молодое поколение дендрофлоры балки.

Ранее нами уже освещались состояние популяции *Quercus robur* на территории байрака [22] и морфологические особенности лесной подстилки балки Генералка [23].

В составе насаждений балки Генералка отмечается наличие чужеродных видов, внесенных в «черный список» Европы и характеризующихся высокой инвазионной способностью (*Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudoacacia*, *Parthenocissus quinquefolia*). Согласно современным научным воззрениям, ущерб, наносимый инвазионными растениями природным экосистемам, и особенно территориям природно-заповедного фонда, оценивают не в материальном плане, а по их косвенному влиянию на биоразнообразие, физико-химические показатели почв, сукцессии в экосистемах и на экологическое равновесие [24, 25]. На данный момент доля участия подобного рода растений в составе древостоя мала, но для сохранения уникальности видового



состава байрачных лесов необходимо изучать динамику и контролировать численность указанных инвазионных видов.

**Заключение.** Дендрофлора балки Генералка представлена 39 видами древесных растений, относящихся к 30 родам и 17 семействам. Аборигенные виды составляют 73,7%, а интродуцированные – 26,3% от общего количества видов фитоценоза. Основными лесными породами природных фитоценозов исследованного байрачного леса являются *Acer campestre*, *A. tataricum*, *Quercus robur*, *Ulmus carpinifolia*, *U. laevis*, *Fraxinus excelsior*. Среди интродуцентов наиболее распространены *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudoacacia*, *Morus alba*. Вследствие нарушения нормального оборота поколений в популяциях основных эдификаторов (*Quercus robur*, *Ulmus carpinifolia*, *U. laevis* и др.) происходит смена пород на наиболее те-

невыносливые виды-ассектаторы (*Acer campestre* и *A. tataricum*). Древесные породы насаждения балки относятся к группам медоносных (10 видов) и витаминных (4 вида) растений. В составе фитоценоза байрака зарегистрированы виды с высокой инвазионной способностью (*Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, *Robinia pseudoacacia*) и признанный инвазионным (*Parthenocissus quinquefolia*). Представители обеих категорий могут нести угрозу для биологического разнообразия байрачного леса, поэтому необходим регулярный контроль за их численностью.

Перспективным является детальное изучение естественного возобновления аборигенных и интродуцированных древесных пород, входящих в состав насаждения байрачного леса, а также проведение дальнейшего мониторинга за распространением на территории балки инвазионных видов.

### Литература

1. Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока УССР. Киев: Изд-во КГУ, 1950. 263 с.
2. Бельгард А. Л. Степное лесоведение. М.: Изд-во Лесная пром-сть, 1971. 336 с.
3. Байрачные леса бывшей порожистой части Днепра – составная часть экологической сети юга Украины / А. П. Травлев [и др.] // *Екологія та ноосферологія*. 2005. Т. 16, № 3–4. С. 75–94.
4. Генов А. П. К вопросу охраны байрачных лесов Левобережной Украины // *Интродукция и акклиматизация*. 1984. Вып. 1. С. 37–38.
5. Харченко Н. Н., Харченко Н. А., Ахтырцев А. Б. Мелиоративная роль дубрав Центральной Лесостепи // *Лесотехнический журнал*. 2014. № 1. С. 40–47.
6. Бессонова В. П., Зайцева И. А., Немченко М. В. Дендрофлора урочища «Войсковая балка» (Днепропетровская область) // *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2017. Т. XI, № 2. С. 70–77.
7. Закон України «Про природно-заповідний фонд України» // *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 1992. № 39, ст. 523 [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2456-12> (дата размещения: 20.03.2019).
8. Данчук О. Т., Данчук-Дворецька Т. І. Інтродуковані деревні породи в умовах природоохоронних територій: ризики та проблеми // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 26.7. С. 49–56.
9. Сукачев В. Н. Основные понятия лесной биогеоценологии // *Основы лесной биогеоценологии*. 1964. С. 5–49.
10. Сукачев В. Н. Основные понятия о биогеоценозах и общее направление их изучения // *Программа и методика биогеоценологических исследований*. 1966. С. 12–50.
11. Скворцов А. К. Гербарий. Пособие по методике и технике. М.: Наука, 1977. 199 с.
12. Определитель высших растений Украины / Д. Н. Доброчаева [и др.]. Киев: Фитосоцицентр, 1999. 548 с.
13. Калініченко О. А. Декоративна дендрологія. Київ: Вища школа, 2003. 199 с.
14. Яковлева-Носарь С. О., Бессонова В. П. Дендрофлора балки Широка (острів Хортиця) // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 2. С. 26–30.
15. Петрученко В. І. Природа Запорізького краю: довідник. Запоріжжя: Тандем Арт Студія, 2009. 200 с.
16. Paluch R. Natural regeneration of oak in the Biaowieza Primeval Forest Promotional Forest Complex-state, conditions and prospects // *Sylvan*. 2005. Vol. 149 (1). P. 30–41.
17. Потапенко А. М., Усеня В. В. Лесовозобновительный потенциал дубрав Белорусского Полесья // *Труды БГТУ*. Сер. 1: Лесное хозяйство. Природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2. С. 63–68.
18. Рябцев И. С., Рябцева И. М., Тиходеева М. Ю. Особенности возобновления широколиственных пород в байрачном лесу (на примере участка «Острасьеви яры» государственного природного заповедника «Белогорье») // *Вестник СПбГУ*. 2011. Сер. 3. Вып. 1. С. 13–26.
19. Природне насінне відтворення дубових насаджень як елемент наближеного до природи лісівництва / Л. І. Копій [та ін.] // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27, № 9. С. 9–13.

20. Зайцева І. А., Бессонова В. П., Ткач В. В. Структура ценопопуляцій *Ulmus carpinifolia* Rupp. ex Suckow і *U. laevis* Pall. острова Хортиця // Науковий вісник НЛТУ України. 2015. Вип. 25.9. С. 50–57.
21. Бессонова В. П., Зайцева І. А. Онтогенетична та віталітетна структура байрачно-лісових ценопопуляцій *Acer campestre* L. і *A. tataricum* L. в умовах рекреаційного навантаження // Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Вип. 26.8. С. 185–193.
22. Яковлева-Носарь С. О., Тетельбаум Ю. В., Бессонова В. П. Стан ценопопуляцій *Quercus robur* L. байраків порожистої частини Дніпра за умов рекреації // Вісник Запорізького національного університету. Серія Біологічні науки. 2005. № 1. С. 180–187.
23. Яковлева-Носарь С. О. Морфолого-фракційна характеристика підстилки байраку Генералка // Вісник Запорізького національного університету. Серія Біологічні науки. 2008. № 2. С. 189–194.
24. Carpenter D., Carruccino N. Herbivory, time since introduction and the invasiveness of exotic plants // *Journal Ecol.* 2005. 93. P. 315–321.
25. Стасюк М. В. Інвазійна фракція флори Волинської височини: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.05. Київ, 2016. 162 с.

### References

1. Belhard A. L. *Lesnaya rastitel'nost' yugo-vostoka USSR* [Forest vegetation of the southeast of the USSR]. Kiev, Izdatel'stvo KGU Publ., 1950. 263 p.
2. Belghard A. L. *Stepnoye lesovedeniye* [Steppe science in forestry]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 336 p.
3. Travleev A. P., Belova N. A., Bogovin A. V., Dubina A. A. The forests of the former rapids of the Dnieper are an integral part of the ecological network of southern Ukraine. *Ekologiya ta noosferologiya* [Ecology and Noosphereology], 2005, vol. 16, no. 3–4, pp. 75–94 (In Russian).
4. Genov A. P. On the issue of the protection of barefoot forests of the Left Bank of Ukraine. *Introduktsiya i akklimatizatsiya* [Introduction and acclimatization], 1984, vol. 1, pp. 37–38 (In Russian).
5. Kharchenko N. N., Kharchenko N. A., Akhtyrtsev A. B. The reclamation role of the oaks of the Central Forest-Steppe. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forest-engineer magazine], 2014, no. 1, pp. 40–47. (In Russian).
6. Bessonova V. P., Zaytseva I. A., Nemchenko M. V. Dendroflora of the tract “Voice beam” (Dnipropetrovsk region). *Fitoraznoobrazniye Vostochnoy Evropy* [Fito-Variety of Eastern Europe], 2017, vol. XI, no. 2, pp. 70–77 (In Russian).
7. *Zakon Ukrainy “Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy”* [The Law of Ukraine “On the Nature Reserve Fund of Ukraine”]. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (BPD). 1992, no. 39, Art. 523. Available at <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2456-12> (accessed 20.03.2019).
8. Danchuk O. T., Danchuk-Dvoretzka T. I. Introduced wood species in conditions of protected areas: risks and problems. *Naukovyy visnik NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 2016, vol. 26.7, pp. 49–56.
9. Sukachev V. N. Basic concepts of forest biogeocenology. *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Fundamentals of forest biogeocenology], 1964, pp. 5–49 (In Russian).
10. Sukachev V. N. Basic concepts about biogeocoenoses and the general direction of their study. *Programma i metodika biogeotsenoticheskikh issledovaniy* [Program and method of biogeocoenic research]. 1966, pp. 12–50 (In Russian).
11. Skvortsov A. K. *Gerbariy. Posobiye po metodike i tekhnike* [Herbarium. Handbook on technique and technique]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 199 p.
12. Dobrochaeva D. N., Kotov M. I., Prokudin Yu. N. *Opredelitel' vysshikh rasteniy Ukrainy* [Determiner of higher plants of Ukraine]. Kiev, Phitosotsiotsentr Publ., 1999. 548 p.
13. Kalinichenko O. A. *Dekoratyvna dendrologiya* [Decorative dendrology]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 2003. 199 p.
14. Yakovlieva-Nosar S. O., Bessonova V. P. Dendroflora of the beam Shiroka (Khortytsia Island). *Naukoviy visnik NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 2018, vol. 28, no. 2, pp. 26–30.
15. Petrochenko V. I. *Priroda Zaporiz'kogo krayu* [Nature of the Zaporizhzhya region]. Zaporizhzhia, Tandem Art Studiia Publ., 2009. 200 p.
16. Paluch R. Natural regeneration of oak in the Biaowieza Primeval Forest Promotional Forest Complex-state, conditions and prospects. *Sylwana*, 2005, vol. 149 (1), pp. 30–41.
17. Potapenko A. M., Usenya V. V. The reforestation potential of the oak of the Belarusian Polesie. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resource, 2018, no. 2, pp. 63–68 (In Russian).

18. Ryabtsev I. S., Ryabtseva I. M., Tikhodeeva M. Yu. Features of the renewal of broad-leaved rocks in the ravine forest (on the example of the section "Ostraves Yar" of the state nature reserve "Belogorye"). *Vestnik SPbGU* [Bulletin of SPbSU], 2011, series 3, vol. 1, pp. 13–26 (In Russian).

19. Kopii L. I., Fyzik I. V., Baran S., Lavnyi V. V., Kopii S. L., Presner R. B., Ahii V. O. Natural seed reproduction of oak plantations as an element of approximation to the nature of forestry. *Naukoviy visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 2017, vol. 27, no. 9, pp. 9–13.

20. Zaitseva I. A., Bessonova V. P., Tkach V. V. Structure of cenopopulations of *Ulmus carpinifolia* Rupp. ex Suckow and *U. laevis* Pall. Khortytsia Islands. *Naukoviy visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 2015, vol. 25.9, pp. 50–57.

21. Bessonova V. P., Zaitseva I. A. Ontogenetic and vital structure of *Acer campestre* L. and *A. tataricum* L. in coarse-forest populations under conditions of recreational loading. *Naukoviy visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 2016, vol. 26.8, pp. 185–193.

22. Yakovlieva-Nosar S. O., Tetelbaum Yu. V., Bessonova V. P. The state of the coenopopulations of *Quercus robur* L. of the bareback of the rapids of the Dnieper in conditions of recreation. *Visnik Zaporiz'kogo natsional'nogo universitetu* [Bulletin of the Zaporizhzhya National University], series Biological Sciences, 2005, no. 1, pp. 180–187.

23. Yakovlieva-Nosar S. O. Morphological-fractional characteristics of the bedrock of the Bayrak Generalka. *Visnik Zaporiz'kogo natsional'nogo universitetu* [Bulletin of the Zaporizhzhya National University], series Biological Sciences, 2008, no. 2, pp. 189–194.

24. Carpenter D., Cappuccino N. Herbivory, time since introduction and invasiveness of exotic plants. *Journal Ecology*. 2005, no. 93, pp. 315–321.

25. Stasiuk M. V. *Invaziyina fraktsiya flory Volyns'koy vysochyny. Dys. kand. biol. nauk* [Invasive fraction of the flora of Volyn upland. Cand. Diss.]. Kyiv, 2016. 162 p.

#### Информация об авторах

**Яковлева-Носарь Светлана Олеговна** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры садово-паркового хозяйства и генетики. Запорожский национальный университет (69600, г. Запорожье, ул. Жуковского, 66, Украина). E-mail: krokus17.zp@gmail.com

**Бессонова Валентина Петровна** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой садово-паркового хозяйства. Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет (49600, г. Днепр, ул. Сергея Ефремова, 25, Украина). E-mail: spg.dsaeu@gmail.com

#### Information about the authors

**Yakovlieva-Nosar Svetlana Olegovna** – PhD (Biology), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Landscape Design and Genetics. Zaporizhzhia National University (66, Zhukovskogo str., 69600, Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: krokus17.zp@gmail.com

**Bessonova Valentina Petrovna** – DSc (Biology), Professor, Head of the Chair of Landscape Design. Dnipro State Agrarian and Economical University (25, Sergei Ephremov str., 49600, Dnipro, Ukraine). E-mail: spg.dsaeu@gmail.com

Поступила 22.05.2019

# ЛЕСОВОСТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОВОЗВЕДЕНИЕ

---

УДК 630\*232.311.3

**Н. К. Крук, Н. И. Якимов, П. В. Тупик, А. В. Юрения**  
Белорусский государственный технологический университет

## **МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРЕВЬЕВ И ШИШЕК И КАЧЕСТВО СЕМЯН НА ЛЕСОСЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ СОСНЫ ВЕЙМУТОВОЙ**

Исследования проводились на лесосеменных плантациях сосны веймутовой в ГЛХУ «Пружанский лесхоз». Целью исследований являлось изучение особенностей роста деревьев по основным морфометрическим признакам – диаметру, высоте стволов и диаметру кроны деревьев и оценка качества семян, получаемых с лесосеменных плантаций.

Лесосеменные плантации сосны веймутовой были созданы с периодичностью в несколько лет: 2004–2010 гг. Они характеризуются хорошим ростом и состоянием произрастающих деревьев. Площадь каждой плантации составляет 1,2–1,3 га, деревья размещаются по схеме 8×5 м.

Сохранность деревьев сосны веймутовой на лесосеменных плантациях различная и колеблется от 63,9 до 95,2%. Высота деревьев изменяется от 0,8 до 6,0 м. Ширина крон варьирует от 1,5 м до 3,9 м, а средний диаметр – от 7,0 до 12,0 см.

Практически все лесосеменные плантации вступили в стадию плодоношения. Количество семеносящих деревьев пока составило 8% от общего их количества на плантациях. Длина шишек колеблется в пределах 8,0–19,5 см и в среднем составляет 11,4 см. Диаметр шишек варьирует в пределах 3,3–5,3 см, со средней величиной, равной 4,4 см. Средняя масса шишек составляет 8,6 г и изменяется от 4,6 до 16,1 г. Изменчивость длины шишек составляет 20,1%, а диаметра – 9,1%, эти показатели соответствуют средней и низкой изменчивости. Коэффициент вариации массы шишек равен 27,9%, что свидетельствует о повышенном уровне изменчивости признака. Масса 1000 шт. семян равна 15,36 г. Энергия прорастания семян составляет 35%, а всхожесть – 67%, что соответствует второму классу качества. Высокие морфометрические показатели шишек, их масса, а также показатели качества семян говорят о высокой степени адаптации сосны веймутовой к климатическим условиям Беларуси.

**Ключевые слова:** плантации лесосеменные, сосна веймутова, показатели морфометрические деревьев и шишек, качество семян.

**N. K. Kruk, N. I. Yakimov, P. V. Tupik, A. V. Yurenya**  
Belarusian State Technological University

## **MORPHOMETRIC INDICATORS OF TREES AND CONES AND QUALITY OF SEEDS ON THE WHITE PINE FOREST SEED PLANTATION**

The studies were conducted on forest seed plantations of White pine of Pruzhany timber enterprise. The aim of the research was to study the characteristics of tree growth according to basic morphometric characteristics – the diameter, height of the trunks and the diameter of the crown of trees and to assess the quality of seeds obtained from forest seed plantations.

White pine forest seed plantations were created with a frequency of several years from 2004 to 2010. They are characterized by good growth and condition of growing trees. The area of each plantation is 1.2–1.3 ha, trees are placed according to the 8×5 m scheme.

The preservation of White pine trees on forest seed plantations is different and ranges from 63.9% to 95.2%. The height of the trees varies from 0.8 m to 6.0 m. The width of the crowns varies from 1.5 m to 3.9 m, and the average diameter is from 7.0 cm to 12.0 cm.

Almost all forest seed plantations have reached the fruiting stage. The number of seed trees was 8% of their total number on plantations. The length of the cones varies between 8.0–19.5 cm with an average value of 11.4 cm. The diameter of the cones varies from 3.3–5.3 cm, with an average value of 4.4 cm. The average mass of cones is 8.6 g and varies from 4.6 to 16.1 g. The variability of the length of the cones is 20.1%, and the diameter is 9.1%, which correspond to medium and low variability.

The coefficient of variation of the mass of cones is 27.9%, which corresponds to an increased level of variation of the trait. Weight of 1000 pcs. of seed is 15.36 g. The energy of seed germination is 35%, and germination is 67%, which corresponds to the second class of quality. High morphometric indicators of cones, their mass, as well as indicators of seed quality indicate a high degree of adaptation of the White pine to the climatic conditions of Belarus.

**Key words:** forest seed plantations, White pine, morphometric indicators of trees and cones, seed quality.

**Введение.** Сосна веймутова (*Pinus strobus* L.) является одной из основных лесообразующих пород Северной Америки. Она была ввезена в Европу в XVII в. английским мореплавателем Джорджем Веймутом, в честь которого и получила свое название. Сосна является быстрорастущей древесной породой, достигающей в высоту 50–60 м и в диаметре – 1,5 м. Чистых насаждений не образует, растет вместе с дубами, кленами и псевдотсугой. Внешне сосна веймутова сильно напоминает сосну кедровую [1].

Этот древесный вид достаточно широко распространен в нашей республике, но в основном преобладает в озеленительных посадках и парках. Сосна веймутова предпочитает свежие и влажные, хорошо дренированные супесчаные и суглинистые почвы. Она ветроустойчива, морозостойка, хорошо противостоит снеголому. По данным ряда авторов, в лесных культурах сосна веймутова формирует насаждения высоких бонитетов и является перспективной породой для ускоренного плантационного выращивания [2–5]. Поэтому весьма актуальны вопросы, связанные с особенностями семенности этой перспективной интродуцированной породы и качеством семян на лесосеменных плантациях.

**Основная часть.** Цель исследований – изучение особенностей роста деревьев по основным морфометрическим признакам – диаметру, высоте стволов и диаметру кроны деревьев и оценка качества семян, получаемых с лесосеменных плантаций.

Исследования проводились на лесосеменных плантациях сосны веймутовой в ГЛХУ «Пружанский лесхоз». На момент их проведения в составе ПЛСБ лесхоза числилось пять лесосеменных плантаций сосны веймутовой:

– ЛСП сосны веймутовой 2004 г. закладки, кв. 16 выд. 10 Линовского лесничества, общая площадь 1,2 га (в том числе продуцирующая 1,0 га);

– ЛСП сосны веймутовой 2005 г. закладки, кв. 16 выд. 10 Линовского лесничества, общая площадь 1,2 га (в том числе продуцирующая 1,0 га);

– ЛСП сосны веймутовой 2008 г. закладки, кв. 16 выд. 17 Линовского лесничества, общая площадь 1,2 га (в том числе продуцирующая 1,0 га);

– ЛСП сосны веймутовой 2009 г. закладки, кв. 16 выд. 17 Линовского лесничества, общая площадь 1,3 га (в том числе продуцирующая 1,0 га);

– ЛСП сосны веймутовой 2010 г. закладки, кв. 16 выд. 9 Линовского лесничества, общая площадь 1,3 га (в том числе продуцирующая 1,0 га).

Таким образом, общая площадь ЛСП сосны веймутовой в Пружанском лесхозе составляет 6,2 га, в том числе продуцирующая площадь – 5,0 га.

Лесосеменные плантации сосны веймутовой были созданы с периодичностью в несколько лет: 2004–2010 гг. Они характеризуются хорошим ростом и состоянием произрастающих деревьев. Площадь каждой плантации составляет 1,2–1,3 га, деревья размещаются по схеме 8×5 м (табл. 1).

Обследованные плантации расположены в одном месте на территории кв. 16, выд. 10, 17 и 9. Исходное место для закладки лесосеменных объектов представлено прогалиной со слабо-волнистым рельефом. Почва на участке дерново-подзолистая песчаная, тип условий место-произрастания А<sub>2</sub>. Во всех случаях для создания ЛСП было использовано семенное потомство сосны веймутовой от плюсовых деревьев.

Селекционная инвентаризация данных лесосеменных объектов проводилась с учетом требований действующих нормативных документов. Закладка пробных площадей осуществлялась общепринятыми в лесной таксации методами в соответствии с ОСТ 56-69-83. В процессе перечета деревьев на пробных площадях, заложенных на участках ЛСП, оценивались их состояние, размерные характеристики стволов и кроны с использованием лесотаксационных инструментов.

Сбор шишек производился в 2019 г. Всего было собрано около 200 шт. шишек с разных частей кроны деревьев и были определены их биометрические показатели (длина, диаметр, масса).

Длину шишек измеряли линейкой, а диаметр шишек – штангенциркулем в двух взаимно перпендикулярных направлениях в наиболее широкой части. Также определялась энергия прорастания, всхожесть и масса 1000 шт. семян.

Камеральная обработка полученных экспериментальных данных проводилась в соответствии с современными математико-статистическими и общепризнанными методиками, действующими ГОСТами и инструкциями.

Морфометрические показатели шишек сосны веймутовой обработаны методами математической статистики [6].

Таблица 1

## Лесосеменные плантации сосны веймутовой в ГЛХУ «Пружанский лесхоз»

Характеристика плантаций	Плантация				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1. Год закладки	2004	2005	2008	2009	2010
2. Площадь (общая / продуцирующая), га	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,3 / 1,0	1,3 / 1,0
3. Среднее расстояние между деревьями: в ряду, м	5	5	5	5	5
между рядами, м	8	8	8	8	8
5. Посажено деревьев, шт.	252	252	252	252	252
6. Сохранилось деревьев, шт.	240	200	161	185	180
7. Сохранность деревьев, %	95,2	79,4	63,9	73,4	71,4
8. Средняя высота деревьев, м	6,0	6,0	4,8	5,5	0,8
9. Средний диаметр деревьев, см	12,0	11,0	7,5	7,0	–
10. Ширина кроны, м	3,9	3,7	1,9	1,5	0,3
10. Состояние плантации	Хорошее	Хорошее	Удовлетв.	Хорошее	Удовлетв.

Сохранность деревьев сосны веймутовой на лесосеменных плантациях различная и колеблется от 63,9% на ЛСП 2008 г. до 95,2% на ЛСП 2004 г. Низкая сохранность деревьев на ЛСП 2008 г. очевидно связана с постоянным отпадом высаженных растений по причине близкого расположения грунтовых вод.

Средняя высота деревьев колеблется от 0,8 м на ЛСП 2010 г. до 6,0 м на ЛСП 2004–2005 гг. Низкая высота растений ЛСП 2010 г. закладки связана с постоянным дополнением отпавших растений на этом блоке. Следует отметить, что на остальных блоках семенные растения развиты достаточно хорошо. Средняя ширина крон колеблется от 1,5 до 3,9 м, а средний диаметр – от 7,0 до 12,0 см. Общее состоя-

ние обследованных ЛСП оценено как хорошее (ЛСП 2004 г., ЛСП 2005 г. и ЛСП 2009 г.) и удовлетворительное (ЛСП 2008 г. и ЛСП 2010 г.). За лесосеменными объектами регулярно проводятся агротехнические уходы, которые заключаются в дисковании почвы в междурядьях, обрезке и формировании кроны, а также внесении минеральных удобрений. Все лесосеменные плантации, за исключением ЛСП 2010 г., вступили в стадию плодоношения.

В 2019 г. семеношение соответствовало I баллу по шкале А. А. Корчагина. Количество семеносящих деревьев было невысоким и составило 8% от общего количества деревьев на плантациях. Общий вид ЛСП сосны веймутовой представлен на рисунке.



ЛСП сосны веймутовой в ГЛХУ «Пружанский лесхоз» (2004–2005 гг. закладки)



По результатам исследования Е. Н. Репина, в условиях дальнего востока России урожай шишек у сосны веймутовой формируется в верхней части кроны и распределен по мутовкам более-менее равномерно. Длина шишек колебалась от 8,6 до 16,1 см и в среднем составляла 11,7 см. Средняя ширина шишек равнялась 2,4 см и варьировала в пределах 1,9–2,7 см [7]. За 9-летний период наблюдений семенной год с высокой урожайностью наступал два года подряд. В последующие 7 лет интенсивность семеношения была невысокой или отсутствовала. Периодичность семеношения сосны веймутовой в Северной Америке равняется 2–3 годам. На основании этого в течение 7 лет семенной год у данного вида должен был наступить дважды [8]. Вероятно, при интродукции периодичность семеношения либо увеличивается на большое количество лет, либо эти периоды являются неравномерными по протяженности.

В табл. 2 представлены данные о массе шишек и их размерных характеристиках в условиях ГЛХУ «Пружанский лесхоз».

На плантациях длина шишек сосны веймутовой колеблется в пределах 8,0–19,5 см и в среднем составляет 11,4 см. Диаметр шишек варьирует в пределах 3,3–5,3 см, со средней величиной, равной 4,4 см. Средняя масса шишек составляет 8,59 г и изменяется от 4,56 до 16,08 г.

Одной из основных характеристик лесосеменных плантаций является степень изменчивости признаков, на которые направлена селекция. Чем выше степень изменчивости признаков, тем разнообразнее селекционный объект. Степень изменчивости признаков характеризуется коэффициентом вариации, который представляет собой средний процент отклонения

отдельных вариантов ряда от среднего значения признака. Уровень изменчивости признака и степень его дифференциации можно установить по шкалам С. А. Мамаева [7].

Изменчивость длины шишек составляет 20,1%, а диаметра 9,1%, эти показатели соответствуют средней и низкой изменчивости. Коэффициент вариации массы шишек равен 27,9%, что свидетельствует о повышенном уровне изменчивости признака.

Основными показателями качества семян являются масса 1000 шт., энергия прорастания и их всхожесть. В табл. 3 приведены результаты лабораторного анализа семян сосны веймутовой, полученные на лесосеменных плантациях Пружанского лесхоза.

Масса 1000 шт. семян на лесосеменных плантациях сосны веймутовой равна 15,36 г. Энергия прорастания семян составляет 35%, а всхожесть – 67%, что соответствует второму классу качества.

В литературе приводятся разные данные о лабораторной всхожести семян сосны веймутовой. Она может колебаться в пределах от 13 до 80%, а энергия прорастания от 3,5 до 60% [8–12]. Очевидно, это объясняется разными возможностями адаптации данного вида в различных климатических условиях. Что касается адаптации сосны веймутовой в условиях Беларуси, то, судя по качественным показателям семян, она является успешной.

**Заключение.** Семенные деревья сосны веймутовой на лесосеменных плантациях развиты хорошо. Сохранность деревьев также достаточно высокая и колеблется в пределах 63,9–95,2%. Средняя высота деревьев варьирует от 0,8 до 6,0 м, а средний диаметр – от 7,0 до 12,0 см. Средняя ширина крон колеблется от 1,5 до 3,9 м,

Таблица 2

Основные морфометрические показатели шишек и их масса

Показатели	$M$	$\pm m$	min	max	$\sigma$	$V\%$	$P\%$
Длина шишек, см	11,4	0,32	8,0	19,5	2,3	20,1	2,80
Диаметр шишек, см	4,4	0,06	3,3	5,3	0,4	9,1	1,36
Масса одной шишки, г	8,59	0,33	4,56	16,08	2,4	27,9	3,84

Таблица 3

Качество семян сосны веймутовой на лесосеменных плантациях

Масса 1000 шт. семян, г	Энергия прорастания семян, %	Всхожесть, %	Класс качества
15,36	35	67	2

За лесосеменными объектами регулярно проводятся агротехнические уходы, которые заключаются в дисковании почвы в междурядьях, обрезке и формировании кроны, а также внесении минеральных удобрений. Для стимулирования плодоношения на плантациях рекомендуется внесение калийных и фосфорных удобрений ручным способом в приствольные круги деревьев во второй половине вегетации растений.

Практически все лесосеменные плантации вступили в стадию плодоношения. Масса 1000 шт. семян на лесосеменных плантациях сосны веймутовой равна 15,36 г. Энергия прорастания семян составляет 35%, а всхожесть – 67%, что соответствует второму классу качества.

Высокие морфометрические показатели шишек, их масса, а также показатели качества семян свидетельствуют о высокой степени адаптации сосны веймутовой в условиях Беларуси.

### Литература

1. Мерзленко М. Д., Коженкова А. А., Белинский М. Н. Лесоводственный эффект интродукции сосны веймутовой в зоне смешанных лесов // Лесной вестник. 2011. № 5. С. 11–15.
2. Усачев А. И. Сосна веймутова в культурах европейской части СССР // Лесная интродукция: сб. науч. тр., 1983. С. 24–30.
3. Калущий К. К., Болотов Н. А., Михайленко Д. М. Древесные экзоты и их насаждения. М.: Агропромиздат, 1986. 271 с.
4. Писаренко А. И., Редько Г. И., Мерзленко М. Д. Искусственные леса: в 2 ч. М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. Ч. 1. 308 с.
5. Логинов В. Б. Интродукционная оптимизация лесных культур ценозов. Киев: Наукова думка, 1988. 164 с.
6. Атрошенко О. А., Машковский В. П. Лесная биометрия. Минск: БГТУ, 2010. 328 с.
7. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 283 с.
8. Репин Е. Н. Определение урожайности семян некоторых видов хвойных растений в дендрарии Горнотаежной станции // Биологические исследования на Горнотаежной станции: сб. науч. тр. 2008. Вып. 11. С. 82–90.
9. Репин Е. Н. Семеношение сосны веймутовой (*Pinus Strobus* L.) в дендрарии Горнотаежной станции Дальневосточного отделения РАН // Вестник Крас ГАУ. 2013. № 9. С. 141–144.
10. Гиргидов Д. Я. Культуры новых хвойных пород в северо-западных районах СССР // Географический сборник. Географические вопросы лесного хозяйства. 1955. С. 25–93.
11. Холяков В. С. Лесные быстрорастущие экзоты. М.: Лесная пром-сть, 1981. 224 с.
12. Мкртчян М. А., Путенихин В. П. Качество семян и жизнеспособность пыльцы у *Pinus strobus* L., *p. Banksiana* Lamb. и *p. Ponderosa* Laws. в условиях интродукции в Башкирском Предуралье // Вестник ОГУ. 2011. № 12 (131). С. 216–217.

### References

1. Merzlenko M. D., Kogenkova A. A., Belinskiy M. N. Silvicultural effect of introduction of Weymouth pine in the mixed forest zone. *Lesnoy vestnik* [Bulletin Forestry], 2011, no. 5, pp. 11–15 (In Russian).
2. Usachev A. I. Weymouth pine in the cultures of the European part of the USSR. *Lesnaya introduktsiya: sb. nauch. tr.* [Forest introduction. Collection of scientific papers], 1983, pp. 24–30 (In Russian).
3. Kalutskiy K. K., Bolotov N. A., Michylenko D. M. *Drevesnyye ekzoty i ikh nasazhdeniya* [Exotics of wood and their plantations]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 271 p.
4. Pisarenko A. I., Red'ko G. I., Merzlenko M. D. *Iskusstvennyye lesa* [Artificial forests]. Moscow, VNIITslesresurs Publ., 1992. Part. 1. 308 p.
5. Loginov V. B. *Introduktsionnaya optimizatsiya lesnykh kul'turtsenozov* [Introduction optimization of forest crops]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988. 164 p.
6. Atroshchenko O. A., Mashkovskiy V. P. *Lesnaya biometriya* [Forest biometrics]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 328 p.
7. Mamaev S. A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the Pinaceae family in the Urals)]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 283 p.
8. Repin E. N. Determination of the seed yield of some species of conifers in the arboretum of the Mountain Taiga Station. *Biologicheskiye issledovaniya na Gornotayozhnoy stantsii: sb. nauch. tr.* [Biological research at the Mountain Taiga station. Collection of scientific papers], 2008, vol. 11, pp. 82–90 (In Russian).



9. Repin E. N. Seeding of Weymouth pine (*pinus strobus* L.) In the arboretum of the Gornotaiga station of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. *Vestnik Kras GAU* [Bulletin Kras GAU], 2013, no. 9, pp. 141–144 (In Russian).

10. Girgidov D. Ya. Culture of new conifers in the northwestern regions of the USSR. *Geograficheskiy sbornik. Geograficheskiye voprosy lesnogo khozyaystva* [Geographic collection. Geographical issues of forestry], 1955, pp. 25–93 (In Russian).

11. Kholiyavko V. S. *Lesnyye bystrorastushchiye ekzoty* [Forest fast-growing exotic]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1981. 224 p.

12. Mkrtychyan M. A., Putenikhin V. P. Seed quality and pollen viability in *Pinus strobus* L., *P. Banksiana* Lamb. and *P. Ronderosa* Laws. under conditions of introduction in the Bashkir Cis-Urals. *Vestnik OGU* [Bulletin OGU], 2011, no. 12 (131), pp. 216–217 (In Russian).

#### 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

**Тупик Павел Валерьевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pavel\_tupik@belstu.by

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

#### Information about the authors

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

**Tupik Pavel Valer'yevich** – 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: pavel\_tupik@belstu.by

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

Поступила 22.10.2019

УДК 630.235

**А. М. Потапенко<sup>1</sup>, М. С. Лазарева<sup>2</sup>, К. М. Сторожишина<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Институт леса Национальной академии наук Беларуси<sup>2</sup>Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины<sup>3</sup>Жорновская экспериментальная лесная база**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ,  
СОЗДАННЫХ В ПОРЯДКЕ РЕКОНСТРУКЦИИ  
МАЛОЦЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ,  
ЛЕСОКУЛЬТУРНЫМ МЕТОДОМ**

Выполнен анализ современного состояния реконструкции малоценных лесных насаждений широколиственными породами и способов ее проведения. Установлено, что за последние 10 лет доленое участие лесных культур широколиственных пород, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, в Республике Беларусь снизилось в 3,5 раза. Наибольшая доля лесных культур широколиственных пород, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, отмечена в Гомельском (1,4 тыс. га), Могилевском (0,9 тыс. га) и Витебском (0,6 тыс. га) ГПЛХО. В 2006–2018 гг. коридорный способ реконструкции преобладал в Брестском, Витебском, Гомельском и Могилевском ГПЛХО (от 46,2 до 94,0% от общего объема по ГПЛХО). Чаще всего сплошной способ реконструкции использовался в Брестском и Гродненском ГПЛХО (от 20,3 до 33,6%). Реконструкция куртинно-групповым способом широко применялась в Гродненском (50,9%) и Минском (60,0%) ГПЛХО.

**Ключевые слова:** реконструкция, малоценные лесные насаждения, лиственные леса, способ реконструкции, состав насаждения.

**A. M. Potapenko<sup>1</sup>, M. S. Lazareva<sup>2</sup>, K. M. Storozhishina<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus<sup>2</sup>Francisk Skorina Gomel State University<sup>3</sup>Zhornovskaya Experimental Forest Base**ON THE RESTORATION OF BROAD-LEAVED FORESTS  
CREATED IN THE ORDER OF RECONSTRUCTION  
OF SOFTWOODS FOREST PLANTS  
BY THE FOREST-CULTURAL METHOD**

The analysis of the current state of the reconstruction of low-value forest stands by the broad-leaved species and the methods of its implementation was performed. It was established that over the past 10 years the share participation of deciduous forest cultures created as a reconstruction of low-value forest plantations in the Republic of Belarus decreased 3.5 times. The largest share of forest plantations of broad-leaved species, created in the order of reconstruction of low-value forest plantations, was noted in Gomel (1.4 thousand ha), Mogilev (0.9 thousand ha) and Vitebsk (0.6 thousand ha) State Production Forestry Associations. In 2006–2018 the corridor method of reconstruction prevailed in Brest, Vitebsk, Gomel and Mogilev State Production Forestry Associations (from 46.2 to 94.0% of the total volume for a separate State Production Forestry Association). In most cases, a continuous method of reconstruction was used in Brest and Grodno State Production Forestry Associations (from 20.3 to 33.6%). The reconstruction by the group method was widely used in the Grodno (50.9%) and Minsk (60.0%) State Production Forestry Associations.

**Key words:** reconstruction, low-value forest plantations, deciduous forests, method of reconstruction, composition of plantings.

**Введение.** Стратегическим планом развития лесохозяйственной отрасли Беларуси на период с 2015 по 2030 год. [1] предусматривается увеличение долевого участия широколиственных пород в лесопокрытой площади с 3,8 до 5,5% и проведение реконструкции малоценных лесных насаждений к 2020 г. до 4000 га в год.

За последние 15 лет доленое участие лесных культур широколиственных пород, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, в Республике Беларусь варьировало по годам от 180 до 600 га и более.

В Лесном кодексе Республики Беларусь [2] указывается на необходимость проведения реконструкции малоценных насаждений на участках

лесного фонда, которые по своим составу, продуктивности, ожидаемым к возрасту рубок леса, и выполняемым функциям не соответствуют лесорастительным условиям.

Как лесохозяйственное мероприятие реконструкция малоценных насаждений проводится путем рубок реконструкции с посадкой лесных культур целевых пород.

Под малоценными лесными насаждениями понимаются лесные насаждения низких продуктивности и качества для определенных лесорастительных условий, критерии выделения которых устанавливаются республиканским органом государственного управления по лесному хозяйству [3].

**Основная часть.** Цель работы – изучить эффективность восстановления широколиственных лесов, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений лесокультурным методом в лесном фонде Минлесхоза.

Объектами исследований являлись лесные культуры, созданные в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений.

Проведен анализ лесоустроительных материалов по реконструкции малоценных насаждений в лесном фонде Минлесхоза в разрезе ГПЛХО.

Таксационную характеристику насаждений, сформированных в результате ввода лесных культур в категорию ценных, определяли по полученным из лесхозов данным.

Оценка успешности восстановления широколиственных насаждений лесокультурным методом проведена на основе анализа объемов созданных лесных культур и долевого участия введенных в категорию ценных лесных насаждений, отвечающих запланированной целевой породе.

Работа выполнена в рамках Проекта «Развитие лесного сектора Республики Беларусь» при финансовой поддержке Глобального экологического фонда (ГЭФ) в рамках контракта № BFD/GEF/CQS/17/26-36/18 от 14.09.2018 г.

В лесном фонде Республики Беларусь в 2018 г. лесовосстановление и лесоразведение проведены на общей площади 41,2 тыс. га, в том числе за счет посева и посадки леса заложено 34,8 тыс. га новых лесов. В общем объеме лесокультурного производства хвойные и широколиственные породы занимают 96,7% (33,64 тыс. га), мелколиственные (береза, липа, ольха черная и пр.) – 3,3% (1,16 тыс. га). Реконструкция малоценных лесных насаждений лесокультурным методом из общего объема посева и посадки леса выполнена на площади 2,5 тыс. га.

За последние 15 лет долевое участие лесных культур широколиственных пород (дуб, ясень, клен), созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, по данным Государственного лесного кадастра [4], варьировало по годам: от 180 га в 2005 г. до 626 га в 2007 г. (рис. 1).

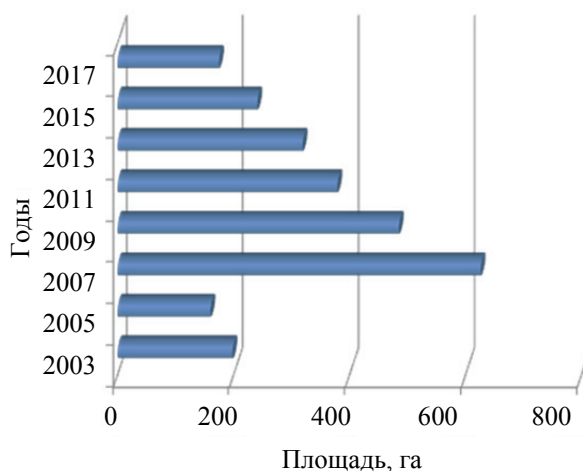


Рис. 1. Динамика создания лесных культур широколиственных пород, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, в лесном фонде Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь (2003–2017 гг.)

Начиная с 2007 г. и до настоящего времени объем реконструкции сократился в 3,5 раза.

Условно можно выделить, что за этот период сформировались три этапа изменения объемов реконструкции малоценных лесных насаждений лесокультурным методом. Для первого шестилетнего этапа (2000–2005 гг.) характерны относительно небольшие объемы создания лесных культур широколиственных пород при реконструкции – от 198 га в 2003 г. до 160 га в 2005 г. На втором этапе (2006–2011 гг.) объемы реконструкции возросли в несколько раз – от 212 га в 2006 г. до 626 га в 2007 г. На третьем этапе (2012–2017 гг.) наблюдается значительное снижение объемов создания лесных культур широколиственных пород при реконструкции – от 319 га в 2013 г. до 175 га в 2017 г.

В настоящее время из всего объема создаваемых лесных культур широколиственных пород 7,7% создаются в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений.

Помимо реконструкции насаждений низкого качества и продуктивности, существует необходимость в восстановлении широколиственных пород в богатых лесорастительных условиях.

В условиях Беларуси снытевые и кисличные березняки и осинники следует рассматривать как производные от дубрав в подзонах широколиственно-сосновых, грабово-дубово-темнохвойных и дубово-темнохвойных лесов. Черноольшаники и грабняки кисличные и снытевые являются производными от дубрав в подзоне широколиственно-сосновых лесов, сероольшаники – в подзоне дубово-темнохвойных лесов [5].

В Беларуси резервом для увеличения доли дубравно-широколиственных групп формаций, кроме производных мелколиственных насаждений, являются и площади грабовых лесов [5]. Производные мелколиственные насаждения от широколиственных лесов распространены по всей территории республики, в то время как производные грабовые приурочены в основном к югу Беларуси.

По данным профессора Рожкова Л. Н. [6], в Брестском и Могилевском ГПЛХО за последние два десятилетия площади, занятые 20-летними производными молодняками, составляют от 20,4 до 51,7% площади покрытых лесом земель этой возрастной группы.

В целом по республике площадь производных мелколиственных лесов, требующих восстановления коренных лесообразователей, составляет в среднем 1098 тыс. га, или 28,9% общей площади лесных земель.

Безусловно, на значительной части площади малоценных молодняков возможно проведение реконструкции, в том числе лесокультурным методом и рубками ухода.

По данным, полученным из государственных лесохозяйственных учреждений Минлесхоза за 2006–2018 гг. (рис. 2), установлено, что в большей степени реконструкция малоценных лесных насаждений широколиственными породами (дуб, клен, ясень) проведена в лесном фонде Гомельского и Могилевского ГПЛХО – 37% (1350,7 га) и 23% (857,3 га), соответственно.

В Витебском и Минском ГПЛХО мероприятия по реконструкции малоценных насаждений за анализируемый период проведены на площади 617,1 га (17%) и 459,0 га (13%), соответственно.

В течение последнего десятилетия реконструкцией были охвачены 276,5 га в Брестском (8%) и 89,8 га в Гродненском ГПЛХО (2%).

Таким образом, распределение объемов реконструкции малоценных насаждений широколиственными породами в лесном фонде Минлесхоза неравномерное (рис. 2). Это зависит от наличия малоценных насаждений, произрастающих в условиях, пригодных для выращивания широколиственных пород, и ряда других причин.

Анализ способов реконструкции малоценных насаждений в лесном фонде Минлесхоза показал, что коридорный способ реконструкции преобладал в Брестском, Витебском, Гомельском и Могилевском ГПЛХО (от 46,2 до 94,0% от общего объема по ГПЛХО). Наибольшее применение сплошного способа реконструкции отмечено в Брестском и Гродненском ГПЛХО (от 20,3 до 33,6%). Реконструкция куртинно-групповым способом широко использовалась в Гродненском (50,9%) и Минском (60,0%) ГПЛХО (табл. 1).

Это связано с объектами реконструкции: возрастом реконструируемых насаждений, составом, полнотой, высотой, состоянием насаждений, площадью участка и другими факторами.

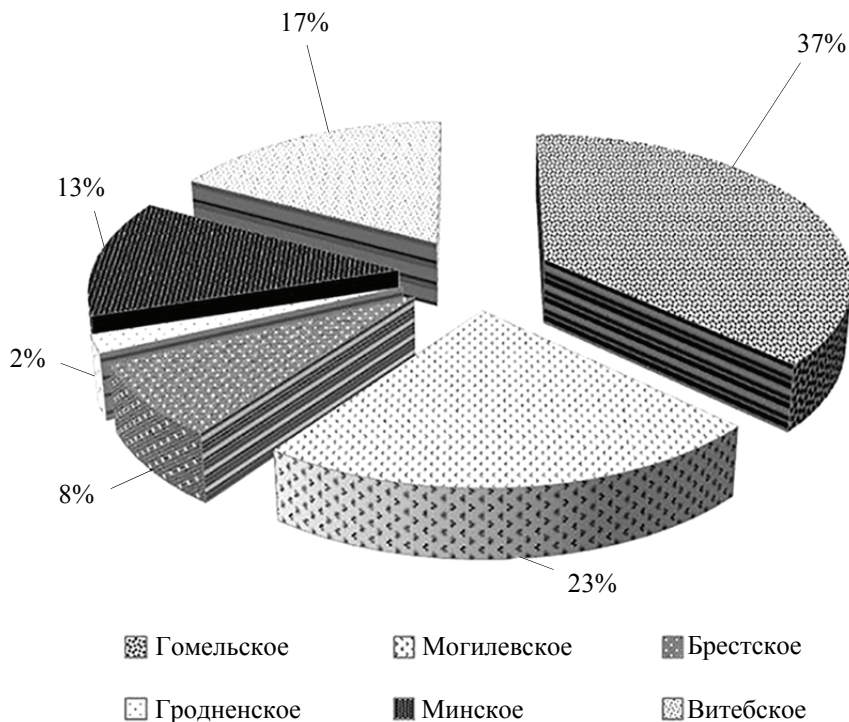


Рис. 2. Создание лесных культур широколиственных пород в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений в лесном фонде Минлесхоза в разрезе ГПЛХО (2008–2018 гг.)

Таблица 1

**Способы реконструкции малоценных насаждений методом создания лесных культур широколиственных пород в пределах ГПЛХО за 2006–2018 гг.**

ГПЛХО	Способ реконструкции насаждений, га/%			Итого, га/%
	сплошной	коридорный	куртинно-групповой	
Брестское	<u>92,4</u>	<u>169,1</u>	<u>13,4</u>	<u>274,9</u>
	33,6	61,5	4,9	100
Витебское	<u>91,1</u>	<u>512,7</u>	<u>7,7</u>	<u>611,5</u>
	15,0	83,8	1,2	100
Гомельское	<u>125,1</u>	<u>631,1</u>	<u>611,7</u>	<u>1367,9</u>
	9,1	46,2	44,7	100
Гродненское	<u>18,2</u>	<u>25,9</u>	<u>45,7</u>	<u>89,8</u>
	20,3	28,8	50,9	100
Минское	<u>26,3</u>	<u>154,7</u>	<u>278</u>	<u>459,0</u>
	5,7	33,7	60,0	100
Могилевское	<u>25,7</u>	<u>805,6</u>	<u>26,0</u>	<u>857,3</u>
	3,0	94,0	3,0	100
Итого по Минлесхозу	378,8	2299,1	982,5	3660,4

В целом за 2006–2018 гг. объем реконструкции малоценных лесных насаждений широколиственными породами составил 3,66 тыс. га.

Основной целевой породой при создании лесных культур в порядке реконструкции малоценных насаждений во всех ГПЛХО, кроме Витебского, являлся дуб (от 58,4% по Минскому ГПЛХО до 91,8% по Могилевскому ГПЛХО за анализируемый период) (табл. 2).

В Витебском ГПЛХО восстановление широколиственных пород путем реконструкции малоценных насаждений проводилось в лесорастительных условиях, в которых предпочтение отдавалось ясеню (62,6%). В Брестском и Минском ГПЛХО пятая часть созданных при реконструкции насаждений также пришлась на ясенники. Долевое участие кленовых культур варьирует от 3,0% (Могилевское ГПЛХО) до 25,4% (Гродненское ГПЛХО)

и преобладает в Гродненском и Минском ГПЛХО (21,6%).

Следует отметить, что при проведении реконструктивных мероприятий насаждения с преобладанием в их составе дуба, клена и ясеня создаются во всех ГПЛХО, но с различным соотношением пород. В целом за анализируемый период восстановление широколиственных насаждений проведено на площади: дубовые – 2,7 тыс. га, кленовые – 0,3 тыс. га, ясеневые – 0,6 тыс. га и липовые – 1,5 га.

При реконструкции малоценных насаждений лесокультурным методом лесохозяйственными учреждениями использовались различные схемы смешения. В Витебском ГПЛХО большей частью создавались смешанные дубово-еловые культуры со схемой 5Д5Е (81,9% от общего объема созданных в порядке реконструкции культурфитоценозов дуба за анализируемый период).

Таблица 2

**Распределение насаждений по главной породе, созданных в порядке реконструкции малоценных насаждений, в пределах ГПЛХО за 2006–2018 гг.**

ГПЛХО	Главная древесная порода, га / %				Итого, га/%
	дуб	клен	ясень	липа	
Брестское	<u>194,9</u>	<u>33,5</u>	<u>46,5</u>	–	<u>274,9</u>
	70,9	12,2	16,9	–	100
Витебское	<u>190,1</u>	<u>38,7</u>	<u>382,7</u>	–	<u>611,5</u>
	31,1	6,3	62,6	–	100
Гомельское	<u>1233,8</u>	<u>55,5</u>	<u>77,1</u>	<u>1,5</u>	<u>1367,9</u>
	90,2	4,1	5,6	0,1	100
Гродненское	<u>64,6</u>	<u>22,8</u>	<u>2,4</u>	–	<u>89,8</u>
	71,9	25,4	2,7	–	100
Минское	<u>268,0</u>	<u>99,1</u>	<u>91,9</u>	–	<u>459,0</u>
	58,4	21,6	20,0	–	100
Могилевское	<u>787,4</u>	<u>26,1</u>	<u>43,8</u>	–	<u>857,3</u>
	91,8	3,0	5,2	–	100



Кроме этого, создавались дубово-ясеневые (6,4%) и дубово-елово-кленовые культурфитоценозы (4%). Среди ясенников преобладали ясенево-еловые культуры со схемой смешения 5Яс5Е (60%).

В Брестском ГПЛХО при создании дубовых культур в порядке реконструкции более часто применяли смешение дуба с елью 5Д5Е (58%). Также использовались и другие варианты смешения – дуб с кленом, дуб с сосной, дуб с ясенем. Среди ясенников и кленовников следует выделить создаваемые насаждения с равной долей участия пород – 5Д5Яс и 5Д5Кл.

В Гомельском ГПЛХО в порядке реконструкции малоценных насаждений применяли как чистые посадки дуба (50%), так и смешанные (50%). Среди смешанных следует выделить посадки с ясенем, кленом и сосной.

В условиях Гродненского ГПЛХО в основном создавались смешанные насаждения дуба (96%), клена (50%) и ясеня (100%), в том числе и с участием ели.

В порядке реконструкции малоценных насаждений за 2006–2018 гг. в лесхозах Минского ГПЛХО создано смешанных культур дуба с елью на более 50% площади, чистых – около 30%, соответственно. Также имеются участки дуба с кленом, ясенем и сосной. Среди кленовников и ясенников преобладали чистые по составу – 10Кл (60%), 10Яс (57%). В качестве примеси в смешанных культурах присутствовали ель, клен, ясень, а также ольха черная.

При реконструкции малоценных насаждений в Могилевском ГПЛХО большей частью применяли смешанные с елью посадки (68%), остальная часть – это смешанные с кленом, кленом и елью, липой и елью, сосной и березой, ольхой черной. Среди кленовников встречались как чистые (43%), так и смешанные (57%) культуры. В ясенниках преобладало смешение с елью (78%).

**Заключение.** 1. Перед лесоводами Беларуси стоят задачи по увеличению доли широколиственных пород в составе лесов Республики, в том числе и за счет реконструкции малоценных насаждений. Однако за последние 10 лет объемы реконструкции снизились в 3,5 раза.

2. В целом за 2006–2018 гг. объем реконструкции малоценных лесных насаждений широколиственными породами составил 3,7 тыс. га. Наибольшая доля лесных культур широколиственных пород, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, отмечена в Гомельском (1,4 тыс. га), Могилевском (0,9 тыс. га) и Витебском (0,6 тыс. га) ГПЛХО.

3. Коридорный способ реконструкции преобладал в Брестском, Витебском, Гомельском и Могилевском ГПЛХО (от 46,2 до 94,0% от общего объема по ГПЛХО). Чаще всего сплошной способ реконструкции применялся в Брестском и Гродненском ГПЛХО (от 20,3 до 33,6%). Реконструкцию куртинно-групповым способом широко использовали в Гродненском (50,9%) и Минском (60,0%) ГПЛХО.

### Литература

1. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 год: утв. зам. Премьер-министра Респ. Беларусь 23.12.2014, № 06/201–271. Минск, 2015. 20 с.
2. Лесной кодекс Республики Беларусь: Кодекс Республики Беларусь, 24 дек. 2015 г., № 332-3 [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2015. URL: <http://www.pravo.by>. (дата обращения: 10.03.2017).
3. Правила рубок леса в Республике Беларусь: утв. постановлением Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь от 19 дек. 2016 г. № 68. Минск: Минлесхоз, 2016. 17 с.
4. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2018 / Минлесхоз, Лесоуправляющее республиканское унитарное предприятие «Белгослес». Минск, 2018. 62 с.
5. Производные мелколиственные насаждения от широколиственных лесов Беларуси / М. С. Лазарева [и др.] // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2012. № 5 (74). С. 65–73.
6. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Воспроизводство коренного лесообразователя в процессе несплошной рубки // Труды БГТУ. 2016. № 1: Лесное хоз-во. С. 61–64.

### References

1. *Strategicheskiy plan razvitiya lesokhozaystvennoy otrasli na period s 2015 po 2033 god* [Strategic plan for the development of forestry industry for the period from 2015 to 2030]. Minsk, 2015, no. 06/201–271. 20 p.
2. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'*: *Kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Code of the Republic of Belarus: Code of the Republic of Belarus], 2015. Available at: <http://www.pravo.by> (accessed 10.03.2017).
3. *Pravila rubok lesa v Respublike Belarus'* [Rules for logging in the Republic of Belarus]: approved by the Decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus dating December 19, 2016 no. 68. Minsk, Minleskhov Publ., 2016. 17 p.

4. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus po sostoyaniyu na 01.01.2018* [The state forest inventory of the Republic of Belarus as of 01.01.2018]. Minsk, 2018. 62 p.

5. Lazareva M. S., Klimovich L. K., Mitin N. V., Maltseva N. V., Kolodiy T. A., Klimov A. V. Derivative small-leaved stands from deciduous forests of Belarus. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny* [News Francisk Skorina Gomel State University], 2012. vol. 5 (74), pp. 65–73 (In Russian).

6. Rozhkov L. N., Yeroshkina I. F. Reproduction of native forest species in the process of non-continuous felling. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1: Forestry, pp. 61–64 (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**Потапенко Антон Михайлович** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем почвоведения и реабилитации антропогенно нарушенных лесных земель. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246050, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: anto\_ha86@mail.ru

**Лазарева Марина Сергеевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесохозяйственных дисциплин. Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины (246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, Республика Беларусь). E-mail: lesngu@yandex.ru

**Сторожишина Кристина Мирославовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий научным отделом. Жорновская экспериментальная лесная база (213763, г. Осиповичи, ул. Чапаева, 23а, Республика Беларусь). E-mail: storozhishina@gmail.com

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

**Potapenko Anton Mikhaylovich** – PhD (Agriculture), Senior Researcher, the Laboratory of Problems of Soil Science and Rehabilitation of Anthropogenically Disturbed Forest Lands. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246050, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: anto\_ha86@mail.ru

**Lazareva Marina Sergeevna** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forestry Disciplines. Francisk Skorina Gomel State University (104, Sovetskaya str., 246019, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: lesngu@yandex.ru

**Storozhishina Kristina Miroslovovna** – PhD (Agriculture), Head of the Scientific Department. Zhornovskaya Experimental Forest Base (23a, Chapayeva str., 213763, Osipovichi, Republic of Belarus). E-mail: storozhishina@gmail.com

*Поступила 18.11.2019*



УДК 631.541:582.623.2:635.92

**В. И. Торчик**

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
РАЗМНОЖЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ФОРМ РОДА *SALIX* L. ПРИВИВКОЙ**

Несмотря на то что декоративные формы рода *Salix* L. отличаются неприхотливостью к почвенно-грунтовым условиям, достаточной устойчивостью к болезням и вредителям и высокой декоративностью, широкого распространения в зеленом строительстве Беларуси они не получили. Экспериментально установлено, что фенологическое состояние подвоя, используемого в процессе прививки, влияет на интенсивность роста и развития привитых растений. Более интенсивный рост отмечен при прививке на окорененные, а также находящиеся в состоянии набухания почек подвоя, что, по-видимому, связано с быстрым включением привоя в обменные процессы, активно протекающие в вышедшем из состояния покоя подвое.

Наиболее эффективной для ивы козьей ‘*Pendula*’ является прививка на черенки, находящиеся в состоянии покоя, способами копулировки и в расщеп. Приживаемость составляет 85–100%. Для садовых форм ивы цельнолистной ‘*Hakuro Nishiki*’ и ‘*Pendula*’ – копулировка на окорененные подвоя при приживаемости 62,5 и 50%, соответственно. На основании проведенных исследований предложен способ получения саженца привитой садовой формы ивы и разработан технологический регламент по ускоренному выращиванию привитых садовых форм ивы.

**Ключевые слова:** декоративные формы, род *Salix* L., прививка, неокорененные черенки, фенологическое состояние подвоя.

**U. I. Torchyk**

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus

**TECHNOLOGICAL FEATURES  
OF *SALIX* L. DECORATIVE FORMS PROPAGATION BY GRAFTING**

Despite the fact that the decorative forms of the genus *Salix* L. are unpretentious to soil conditions, sufficiently resistant to diseases and pests, and highly decorative, they are not widely used in landscaping in Belarus. It was experimentally established that the phenological stage of the stock used in the grafting process affects the growth rate and development of grafted plants. A more intense growth was noted when grafted on rootstocks, as well as rootstocks that are in a state of swelling, which is apparently due to the rapid inclusion of the scion in metabolic processes that actively occur in the stock that has left the dormant stage.

The most effective for *Salix caprea* ‘*Pendula*’ is grafting on cuttings that are at dormant stage using veneer grafting and cleft grafting. The survival rate is 85–100%. The veneer grafting of rooted stocks is effective for *Salix integra* ‘*Hakuro Nishiki*’ and ‘*Pendula*’ with an survival rate of 62.5 and 50%, respectively. Based on the studies, a method for producing a seedling of a grafted garden form of willow was proposed and a technological procedure was developed for accelerated cultivation of grafted garden forms of willow.

**Key words:** decorative forms, *Salix* L., grafting, unrooted cuttings, phenological stage of the stock.

**Введение.** Декоративные формы рода *Salix* L. отличаются неприхотливостью к почвенно-грунтовым условиям, достаточной устойчивостью к болезням и вредителям и высокой декоративностью. Несмотря на эти качества и обширный ассортимент, в настоящее время в мире насчитывается более 250 декоративных форм [1], широкого использования в озеленении Беларуси они не нашли. Одной из причин, по-видимому, является отсутствие эффективной технологии их размножения прививкой, которая обеспечивает сохранение основных декоративных признаков. Особую ценность при этом представляют декоративные штамбы, что обусловлено их оригинальной

формой кроны (шаровидные, зонтичные, плакучие). Возможность прививки садовых форм на штамб позволяет не только выгодно подчеркнуть их красоту, но и дает возможность значительно расширить спектр их применения при различных композиционных решениях.

Следует отметить, что в республике внимание исследователей обращено в основном на прививку плодовых культур. Вопросу же получения привитых декоративных древесных растений до недавнего времени должного внимания не уделялось.

Некоторые авторы установили, что успешность прививки зависит от физиологического состояния растения и сроков ее проведения, которые должны совпадать по времени с мак-

симальной регенерационной способностью подвоя и привоя [1–3]. Более того, в качестве подвоя практически всегда используются корнесобственные растения. В то же время встречаются данные по прививке и на неокорененные подвои. Такой способ широко используется в виноградарстве [4], а также дал положительные результаты при прививке роз [5, 6]. Однако несмотря на его экономическую выгоду, применить данный способ при размножении многих декоративных древесных видов проблематично по причине достаточно трудной укореняемости их черенков. В этом отношении исключением является ива, побеги которой обладают высокой способностью к укоренению, что и послужило предпосылкой для изучения особенностей прививки ее декоративных форм на неокорененные подвои (прутья длиной 1,2–1,5 м). При этом они находились в различном фенологическом состоянии: покой, набухание почек и начало роста корней в нижней 15-сантиметровой зоне.

В первом варианте опыта заготовка прививочных компонентов и сама прививка проводились в январе. После выполнения прививки привитые черенки устанавливали вертикально по одному в центр контейнеров, заполненных субстратом из смеси торфа и листовой земли (1 : 3 по объему).

Подготовленные таким образом контейнеры помещали в емкость с водой, занимающей 2 / 3 высоты контейнера (рис. 1), в котором проходило их дальнейшее укоренение с одновременным приживанием прививок.

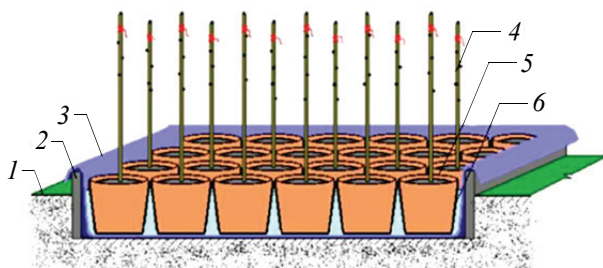


Рис. 1. Общий вид опыта с укореняющимися привитыми ивовыми черенками:

- 1 – уровень земли; 2 – оборотка бассейна;
- 3 – гидроизоляционный материал;
- 4 – привитые ивовые черенки;
- 5 – контейнер с субстратом; 6 – уровень воды

Другая часть черенков для подвоев помещалась в емкость, заполненную на 15–20 см водой. Следующую прививку выполняли при набухании у черенков почек, а затем в период образования на черенках корней. В обоих случаях сразу после прививки черенки высаживались в контейнеры, находящиеся в емкости с водой, как описано выше. Во всех вариантах опыта использовалась

прививка в расщеп, копулировка и прививка с помощью прививочного секатора.

Объектами исследования служили ива козья ‘Pendula’ (*Salix caprea* ‘Pendula’), ива цельнолистная ‘Hakuro Nishiki’ и ‘Pendula’ (*Salix integra* ‘Hakuro Nishiki’ и ‘Pendula’), популярные декоративные формы, которые наиболее эффектно выглядят при прививке на штамб.

Ива козья ‘Pendula’ – плакучая форма. Побеги коричнево-красные, жесткие, свисающие. Отличается быстрым ростом побегов – годичный прирост может достигать 1 м. Листья округлые или широкоэллиптические, темно-зеленые, длиной 6–8 см, с нижней стороны с серым войлочным опушением. Цветет до распускания листьев. Многочисленные сережки вначале серебристого цвета, затем золотисто-желтые. Предпочитает свежие плодородные почвы. Светолюбива, но выносит полутень. Достаточно морозостойка, однако для предотвращения морозобоин желательно укрытие штамба в первые годы после посадки. Используется в основном как солитер. Хорошо смотрится на берегу водоема, газоне, а также в группах с хвойными и многолетниками.

Ива цельнолистная ‘Hakuro Nishiki’ – шаровидная форма. Побеги тонкие, от красных до красно-коричневых, направлены вверх. Годичный прирост достигает 80–100 см. Листья узкие, после распускания также, как и прилистники, имеют бело-розово-зеленую окраску, к середине лета окраска листьев сохраняется лишь на растущих побегах. Цветет непосредственно перед распусканием листьев. Предпочитает влажные почвы, без застоя воды, а также солнечные, защищенные от ветра местоположения. Нуждается в регулярной обрезке. Достаточно зимостойка. В первые годы требует укрытия места прививки. Используется как солитер на газонах, берегах водоемов и альпинариях. Хорошо выглядит на фоне растений с темной окраской.

Ива цельнолистная ‘Pendula’ – плакучая форма с зонтиковидной формой кроны. Побеги красные, глянцевые, свисающие. Годичный прирост 50–90 см. Листья ланцетные, молодые розоватые, позже зеленые, снизу сизые. Цветет до распускания листьев. Сережки желтого цвета. Предпочитает влажные, хорошо освещенные, защищенные места. Зимостойка. В первые годы после посадки желательно укрытие штамба. Используется в основном как солитер. Достаточно декоративна побегами и в безлистном состоянии.

**Основная часть.** Учет результатов опытов показал, что для ивы козьей ‘Pendula’ лучшая приживаемость получена при прививке на черенки, находящиеся в состоянии покоя, копулировкой и в расщеп. Приживаемость прививок соста-

вила соответственно 100 и 91% против 28% в варианте с использованием прививочного секатора. Набухание почек на прививках отмечалось через 13–17 дней после проведения прививочной операции, независимо от способа прививки, а их распускание и начало роста побегов – через 24 дня. Последующее наблюдение за ростом и развитием привитых растений ивы козьей ‘Pendula’ показало, что в первые 10–15 дней прижившиеся прививки, вне зависимости от способа их выполнения, характеризовались практически одинаковой интенсивностью роста (рис. 2).

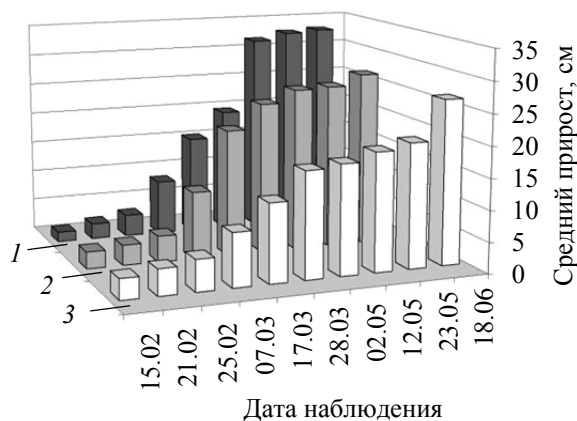


Рис. 2. Динамика изменения среднего прироста ивы козьей ‘Pendula’ в зависимости от способа прививки: 1 – прививочный секатор; 2 – прививка в расщеп; 3 – копулировка

Позднее же наблюдалась ее дифференциация. Так, наиболее интенсивный рост отмечался у прививок, выполненных прививочным секатором и в расщеп, наименьший – копулировкой. В конечном же итоге средний прирост последних практически уравнился и лидирующее положение осталось за прививками, выполненными секатором, что, вероятно, связано с лучшим срастанием прививочных компонентов по причине наиболее точной совместимости их камбиальных тканей при выполнении срезов механизированным путем. Однако при этом в литературе [7] отмечается и негативная составляющая данного способа – возможность образования некроза в местах с двойным перерезанием тканей, что снижает приживаемость прививок. Подтверждением тому служат и результаты наших исследований – приживаемость при данном способе прививки не превысила 30%.

Изучение динамики роста прививок ивы козьей ‘Pendula’ в зависимости от фенологического состояния подвоя показало, что наибольшим средним приростом характеризовались прививки, выполненные на подвоях, находящихся в состоянии набухания почек, наименьшим – покоя (рис. 3).

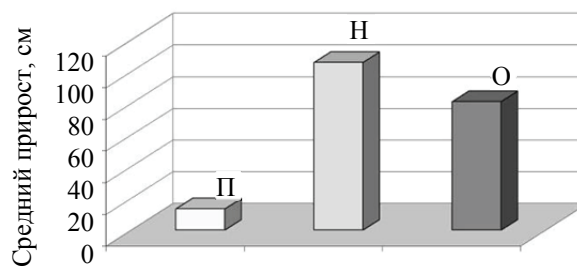


Рис. 3. Средний прирост ивы козьей ‘Pendula’ в зависимости от состояния подвоя:

П – покой; Н – набухание почек; О – окорененный

При прививке садовых форм ивы цельнолистной ‘Nakuro Nishiki’ и ‘Pendula’ лучшие результаты были получены при копулировке на окорененные подвои. Их приживаемость составила соответственно 62,5 и 50%. Более того, привитые саженцы, полученные при использовании окорененных подвоев, характеризовались и более интенсивным ростом (рис. 4).

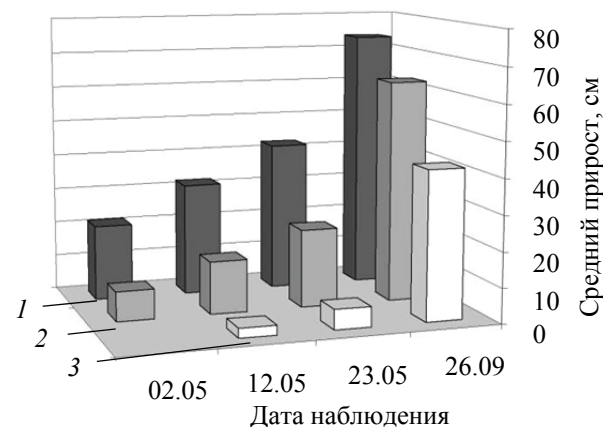


Рис. 4. Динамика изменения среднего прироста ивы цельнолистной ‘Nakuro Nishiki’ в зависимости от состояния подвоя при прививке копулировкой:

1 – окорененный подвой; 2 – набухание почек; 3 – покой

**Заключение.** Проанализировав приведенные выше результаты исследований, можно сделать вывод, что фенологическое состояние подвоя, используемого в процессе прививки, влияет впоследствии на интенсивность роста и развития полученных в итоге привитых растений. Более интенсивный их рост при прививке на окорененные, а также находящиеся в состоянии набухания почек подвои, вероятно, связан с быстрым включением привоя в обменные процессы, активно протекающие в вышедшем из состояния покоя подвое.

В результате опытов установлено, что наиболее эффективной для ивы козьей ‘Pendula’ является прививка на черенки, находящиеся в состоянии покоя, способами копулировкой и в расщеп. Приживаемость их составляет 85–100%. Для садовых форм ивы цельнолистной ‘Nakuro Nishiki’ и ‘Pendula’ – копулировка на окорененные подвои

при приживаемости 62,5 и 50%, соответственно. На основании проведенных исследований предложен способ получения саженца привитой садо-

вой формы ивы [8] и разработан технологический регламент «Ускоренное выращивание привитых садовых форм ивы» [9].

#### Литература

1. Бондорина И. А. Принципы повышения декоративных свойств древесных растений методом прививки: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2000. 20 с.
2. Череновский Ю. А. Приживаемость однолетних прививок кедра сибирского в условиях открытого грунта Ермаковского лесного базисного питомника: материалы II Всеросс. науч.-техн. конф., Красноярск, 8–9 дек. 1999 г. / Мин. обр. Российской Федерации, Сибир. Гос. технол. ун-т. Красноярск, 1999. С. 41–43.
3. Савин Е. З. Сроки зимней прививки // Плодоводство и ягодоводство России. 2001. Т. VIII. С. 219–232.
4. Кренке Н. П. Хирургия растений (Травматология). М.: Новая деревня, 1928. 657 с.
5. Van de Pol P. A., Brenkelaar A. Stenting of roses; a method for quick propagation by simultaneously cutting and grafting // Sc. Hort. 1982. Vol. 17. P. 187–196.
6. Кръстев М. Т., Бондорина И. А. Прививка сортов миниатюрных роз на неокоренные черенки // Бюллетень ГБС РАН. 1996. Вып. 173. С. 167–169.
7. Оникийчук А. Г., Левин А. В. Степень повреждения тканей копуляционных срезов и срастания прививаемых компонентов при различных способах зимней прививки // Пути увеличения производства винограда и продуктов переработки. 1984. С. 60–66.
8. Торчик В. И., Холопук Г. А., Келько А. Ф. Способ получения саженца привитой садовой формы ивы // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. Цэнтр інтэлект. уласнасці. 2013. № 1. С. 51.
9. Торчик В. И., Холопук Г. А., Келько А. Ф. Ускоренное выращивание привитых садовых форм ивы (технологический регламент) // Информ. Бюл. Минжилкомхоза Респ. Беларусь. 2011. № 2 (179). С. 82–92.

#### References

1. Bondorina I. A. *Printsipy povysheniya dekorativnykh svoystv drevesnykh rasteniy metodom privivki. Avtoref. des. kand. biol. nauk* [Principles of enhancing the decorative properties of woody plants by grafting. Abstract of thesis cand of biol. sci]. Moscow, 2000. 20 p.
2. Cherenovskiy Yu. A. Survival of annual graftings of Siberian cedar in the open ground of the Ermakovsky forest base nursery. *Materialy II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of II Russian scientific and technical conference]. Krasnoyarsk, 1999, pp. 41–43 (In Russian).
3. Savin Ye. Z. Timing of winter grafting. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Fruit growing and berry growing in Russia], 2001, vol. VIII, pp. 219–232 (In Russian).
4. Krenke N. P. *Khirurgiya rasteniy (Travmatologiya)* [Plant surgery (Traumatology)]. Moscow, Novaya derevnya Publ., 1928. 657 p.
5. Van de Pol P. A., Brenkelaar A. Stenting of roses; a method for quick propagation by simultaneously cutting and grafting. *Sc. Hort.* 1982, vol. 17, pp. 187–196.
6. Kr'stev M. T., Bondorina I. A. Grafting of varieties of miniature roses on unrooted cuttings. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada RAN* [Bulletin of the General botanical garden of RAS], 1996, vol. 173, pp. 167–169 (In Russian).
7. Okiniyчук A. G., Levin A. V. The degree of tissue damage of copulation sections and intergrowth of grafted components with various methods of winter grafting. *Puti uvelicheniya proizvodstva vinograda i produktov pererabotki* [Ways to increase the production of grapes and processed products], 1984, pp. 60–66 (In Russian).
8. Torchik V. I., Kholopuk G. A., Kel'ko A. F. A method of obtaining a seedling of a grafted garden form of willow. *Afitsyunny byuleten' Natsyyanal'naga Tsentra intelektual'nay ulasnastsi* [Official Bulletin of the National Intellectual Property Center], 2013, no. 1. P. 51 (In Russian).
9. Torchik V. I., Kholopuk G. A., Kel'ko A. F. Accelerated cultivation of grafted garden forms of willow (technological regulations). *Informatsionnyy byulleten' Minzhilkomkhoza Respubliki Belarus'* [Newsletter of the Ministry of Housing and Communal Services of the Republic of Belarus], 2011, no. 2 (179), pp. 82–92 (In Russian).

#### Информация об авторе

**Торчик Владимир Иванович** – член-корреспондент, доктор биологических наук, доцент. Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 2в, Республика Беларусь). E-mail: dendro@tut.by

#### Information about the authors

**Torchik Uladzimir Ivanovich** – Corresponding Member, DSc (Biology), Associate Professor. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dendro@tut.by

Поступила 28.10.2019

УДК 630\*181.28

**В. В. Усеня<sup>1</sup>, К. М. Сторожишина<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Институт леса Национальной академии наук Беларуси<sup>2</sup>Жорновская экспериментальная лесная база**РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ  
В ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ  
ЖОРНОВСКОЙ ЛЕСНОЙ ДАЧИ**

В лесном фонде Беларуси лиственничные леса занимают незначительные площади. Лиственница европейская отличается быстрым ростом, высокой продуктивностью и биологической устойчивостью, ценными техническими качествами древесины и является одной из наиболее перспективных древесных пород для искусственного лесовосстановления и лесоразведения в природно-климатических и лесорастительных условиях Беларуси.

В статье приведены результаты многолетних исследований динамики роста и продуктивности 29- и 110-летних культур лиственницы, произрастающих в лесорастительных условиях ГЛХУ «Жорновская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси». Проведена оценка продуктивности лиственницы в культурах различной густоты посадки, созданных на землях сельскохозяйственного пользования и вырубке с типом лесорастительных условий  $C_2$ ,  $D_2$

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что запас древостоя лиственницы в 29-летних культурах, созданных 2-летними сеянцами и саженцами (1+1) густотой посадки 833-1111 шт./га на вырубке в типе лесорастительных условий  $C_2$ ,  $D_2$ , составляет 280 м<sup>3</sup>/га. Запас культур 110-летних культур лиственницы густотой посадки 2260 шт./га достигает 993 м<sup>3</sup>/га, в том числе древостоя лиственницы – 888 м<sup>3</sup>/га.

**Ключевые слова:** лесные культуры, лиственница, густота посадки, запас насаждения, тип лесорастительных условий.

**V. V. Usenya<sup>1</sup>, K. M. Storozhishina<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus<sup>2</sup>Zhornovskaya Experimental Forest Base**GROWTH AND PRODUCTIVITY OF LARCH FOREST CROPS  
IN FOREST-GROWING CONDITIONS  
OF THE ZHORNOVSKY FOREST LANDLORD'S HOUSE**

Larch forests cover a small area in the forests of Belarus. European Larch is known for their rapid growth and highest productivity and biological stability and wood quality. European Larch is one of the most promising tree species for restore and cultivates the forest in the natural-climatic and forest-plant conditions of Belarus.

Long-term investigations on growth dynamics and productivity 29 and 110 year old larch forest crops are presented in the article. They grow in the Zhornovskaya Experimental Forest Base.

The productivity has assessed European Larch in crops plant density that were created on agricultural land and cutting with type of forest sites  $C_2$ ,  $D_2$ .

As a result of study: 280 m<sup>3</sup>/ha is the total growing stock of larch forests in the 29 year crops. That created by 2 year old seedling and plants (1+ 1) with the density of landing 833-1111 units per hectare on the cutting with type of forest sites  $C_2$ ,  $D_2$ . 993 m<sup>3</sup>/ha is the total larch stock 110 year crops with stocking levels are 2260 units per hectare include 888 m<sup>3</sup>/ha – larch standing timber.

**Key words:** forest plantations, larch, stocking levels, planting stock, type of forest sites.

**Введение.** В последние десятилетия на мировом рынке постоянно увеличивается спрос на крупномерную и балансовую древесину, а также на древесину в топливно-энергетических целях. В связи с этим в настоящее время наибольший интерес для мировой лесохозяйственной практики, ориентированной на ускоренное воспроизводство древесины как сырья с заранее заданными параметрами в максималь-

ном количестве и за более короткий срок, чем при традиционном воспроизводстве лесов, представляет плантационное лесовыращивание насаждений быстрорастущих и технически ценных пород.

В Республике Беларусь плантационное лесовыращивание является одним из направлений лесохозяйственной практики, ориентированных на ускоренное получение древесины различно-

го целевого назначения. Технология плантационного лесовыращивания предусматривает интенсивный метод воспроизводства лесных ресурсов путем использования селекционного посадочного материала, интенсивных агротехнических и лесоводственных уходов, химической мелиорации, регулирования густоты создания и выращивания древостоев.

Выбор древесных пород для создания лесосырьевых плантаций в различных странах определяется их природно-климатическими, лесорастительными и социально-экономическими условиями, а также целями лесовыращивания древесного сырья [1–4].

Многолетние исследования в области изучения роста и продуктивности насаждений свидетельствуют о том, что лиственница перспективна для искусственного лесовыращивания в природно-климатических и лесорастительных условиях Беларуси. Она отличается высокой энергией роста, устойчивостью к болезням и вредителям, высокими техническими качествами древесины [5–9].

Имеются сведения, что в странах Европы лиственница европейская и польская являются самыми быстрорастущими хвойными породами. Скорость роста лиственницы объясняется ее продолжительным вегетационным периодом, который в условиях Беларуси составляет 180–186 дней [9].

На территории Беларуси в лесных культурах различного возраста произрастают 5 видов лиственницы – сибирская, Сукачева, европейская, польская и японская, которые отмечены как в чистых, так и в смешанных насаждениях. Возраст лесных культур лиственницы достигает 170 лет.

Практически все сформированные насаждения лиственницы произрастают в богатых типах лесорастительных условий и характеризуются высокими (Ia–II) классами бонитета. Следова-

тельно, культуры лиственницы европейской могут быть перспективным объектом для интенсивного выращивания древесины с заранее заданными характеристиками. В то же время введение лиственницы в лесные фитоценозы обеспечивает не только повышение продуктивности и устойчивости насаждений искусственного происхождения, улучшение декоративности лесов рекреационного назначения, но и сохранение биологического разнообразия живой природы.

**Основная часть.** В лесном фонде Лапичского лесничества ГЛХУ «Жорновская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси» с целью разработки перспективных способов ускоренного выращивания древесины на лесосырьевых плантациях в 1990 г. на вырубке площадью 3,0 га созданы чистые культуры лиственницы европейской и польской. Характерная для участка почва – дерново-подзолистая, слабоподзоленная, на суглинке легком, подстилаемая с глубины 65 см суглинком средним. Тип лесорастительных условий – С<sub>2</sub>, Д<sub>2</sub>.

Посадка плантационных культур производилась весной вручную под меч Колесова в плужные борозды, подготовленные плугом ПКЛ-70. В качестве посадочного материала использованы 2-летние сеянцы и саженцы (1+1). Густота посадки культур – 833 шт./га при схеме размещения 3×4 м и 1111 шт./га – при схеме размещения посадочных мест 3×3 м.

Биометрические наблюдения первых двух лет свидетельствуют о том, что достоверного влияния вида посадочного материала на рост культур лиственницы не установлено. Не обнаружено также достоверного различия в показателях роста культур лиственницы европейской и польской (рассчитанное значение *t*-критерия меньше табличного при 5%-ном уровне значимости (табл. 1).

Таблица 1

Показатели роста 2-летних плантационных культур лиственницы европейской и польской

Вид лиственницы	Вид посадочного материала	Год учета	Высота, см		Прирост по высоте, см	
			$M \pm m_M$	$t_{0,95}$	$M \pm m_M$	$t_{0,95}$
Лц. польская	Сеянцы	1990	55,2 ± 1,3	–	15,8 ± 0,6	–
Лц. европейская	Сеянцы	–	57,1 ± 1,3	1,0	17,3 ± 0,6	1,8
Лц. европейская	Саженцы	–	55,7 ± 1,1	0,3	16,1 ± 0,7	0,3
Лц. польская	Сеянцы	1991	102,5 ± 2,2	–	47,3 ± 1,3	–
Лц. европейская	Сеянцы	–	104,8 ± 2,0	0,8	47,7 ± 1,2	0,2
Лц. европейская	Саженцы	–	102,7 ± 1,7	0,1	47,0 ± 1,0	0,2

*Примечание.* *M* – среднеарифметическая величина признака; *m* – ошибка среднеарифметической величины; *t*-критерий – вычисленный критерий Стьюдента (стандартное значение коэффициента Стьюдента  $t_{0,05} = 2,8$ ).

В последующие годы также не выявлено существенного различия в показателях роста культур лиственницы европейской и польской, созданных различным посадочным материалом. В связи с этим в табл. 2 приведены основные таксационные показатели 10–29-летних культур лиственницы. Следует отметить, что уже с 10-летнего возраста культур средняя высота на 19%, а средний диаметр на 68% выше, по сравнению с культурами лиственницы более высокой густоты посадки (таблицы хода роста культур лиственницы БССР) [10]. Следует также отметить, что к 29-летнему возрасту культур их средний диаметр оказался на 60%, а запас на 20% выше, по сравнению с культурами более высокой густоты посадки, что очень важно при ускоренном плантационном выращивании древесины и получении сортиментов требуемого диаметра.

По сравнению с культурами сосны I<sup>a</sup> класса бонитета, показатели среднего диаметра и высоты культур лиственницы выше на 34% и 82%, соответственно.

К старейшим посадкам лиственницы европейской в ГЛХУ «Жорновская экспериментальная лесная база Института леса НАН Бела-

руси» следует отнести лесные культуры 1908 г. создания. В это время Жорновская лесная дача находилась во владении рода Радзивиллов и посадка лиственницы была организована управляющим имения. Создание будущего эталонного насаждения лиственницы европейской проводилось под сажальный кол на землях сельскохозяйственного пользования, использовались 2-летние сеянцы. В результате на площади 0,5 га были созданы чистые культуры лиственницы европейской согласно схеме размещения 2,1×2,1 м с густотой посадки 2260 шт./га (табл. 3).

Сохранившиеся сведения о росте и продуктивности лиственничных культур свидетельствуют, что в 1945 г. на участке произрастало 37-летнее чистое насаждение лиственницы составом 10Лц + Д, Олч со средней высотой и средним диаметром, соответственно, 21 м и 20,2 см, запасом 290 м<sup>3</sup>/га. К тому же известно, что для данного участка были характерны паводковые подтопления, что объясняет присутствие примеси ольхи черной в составе насаждения.

В результате мониторинга, проведенного в 1990 г., в лиственничном насаждении был выделен второй ярус составом 7Д2Кл1Е + Гр.

Таблица 2

**Характеристика основных показателей роста и продуктивности  
древостоя лиственницы в плантационных культурах**

Возраст, лет	Средние		Бонитет	Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га
	Н, м	Д, см			
10	8,8	13,6	I <sup>a</sup>	6,7	40,6
15	11,9	16,4	I <sup>a</sup>	10,6	76,6
24	22,4	23,6	I <sup>a</sup>	21,0	240,0
29	22,8	26,5	I <sup>a</sup>	24,4	280,0

Таблица 3

**Характеристика основных показателей роста и продуктивности  
чистых лиственничных культур**

Возраст, лет	Состав	Средние		Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га
		Н, м	Д, см		
37	10Лц + Д, Олч	21,0	20,2	27,5	289
50	10Лц + Д, Олч, Б	25,0	22,1	35,0	382
60	10Лц + Д, Б	27,0	27,0	36,0	434
82	I – 10Лц, II – 7ДЕ2Кл1Е+Гр	31,8	34,0	38,0	542
90	I – 10Лц, II – 6Д2Е1Кл1Гр	34,4	37,1	44,2	655
96	I – 10Лц, II – 6Д2Кл1Е1Гр	35,3	38,5	47,8	720
106	I – 10Лц, II – 5Д2Е2Кл1Гр	35,7	40,1	49,7	745
110	I – 10Лц, II – 5Д2Е2Кл1Гр + Олч	35,9	41,7	51,8	888



В настоящее время на участке, бывшем в сельскохозяйственном пользовании, произрастает 110-летний листовяг кислично-снытевой ассоциации, характеризующийся сложной формой (I ярус – 10Лц, II ярус – 5Д2Е2Кл1Г + Олч) и высокими биометрическими показателями роста и продуктивности.

Средняя высота культур лиственницы составляет 35,9 м, средний диаметр – 41,7 см, бонитет – I<sup>a</sup>, запас древостоя – 888 м<sup>3</sup>/га, общий запас насаждения – 993 м<sup>3</sup>/га.

**Заключение.** Опытно-производственные объекты по выращиванию лиственницы в культурах, созданные в лесном фонде ГЛХУ «Жорновская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси», на протяжении многолетнего периода представляют хозяйственный и научный интерес. Кроме этого, благоприятные условия местопроизрастания

обеспечивают успешный рост и формирование высокопродуктивных насаждений лиственницы, что придает им перспективность использования в целях ускоренного выращивания древесины. Основные таксационные показатели 29-летних плантационных культур лиственницы (средние: диаметр – 26,5 см; высота – 22,8 м; запас – 280 м<sup>3</sup>/га.) свидетельствуют о перспективах искусственного лесовыращивания данной древесной породы в природно-климатических и лесорастительных условиях Беларуси.

В свою очередь организация создания в лесном фонде страны промышленных лесосырьевых плантаций лиственницы в соответствующих типах лесорастительных условий обеспечивает выращивание с единицы площади максимального количества целевых сортиментов необходимого качества в наиболее короткие сроки.

### Литература

1. Писаренко А. И. Перспективы развития лесных плантаций как основы лесовосстановления // Лесное хозяйство. 2014. № 5. С. 2–6.
2. Штукин С. С. Ускоренное выращивание сосны, ели и лиственницы на лесных плантациях. Минск: ИООО «Право и экономика», 2004. 242 с.
3. Шутов И. В. Плантационное лесоводство. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2007. 366 с.
4. Решетников В. Ф. Повышение продуктивности лесов путем использования быстрорастущих древесных пород // Лесное и охотничье хозяйство. 2002. № 3. С. 12–13.
5. Клебанов А. Плантационное лесовыращивание в мире // Лесное хозяйство. 2000. № 2. С. 54.
6. Рекомендации «Плантационное выращивание хвойных пород в Беларуси»: утв. 16.07.1999. Минск: Мин-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 1999. 15 с.
7. Лесной кодекс Республики Беларусь. Минск: Минлесхоз, 2000. 76 с.
8. Волович П. И. О внедрении интродуцентов хвойных в лесные культуры // Труды Института леса НАН Беларуси. 2001. Вып. 59. Селекция, генетические ресурсы и сохранение генофонда лесных древесных растений (Вавиловские чтения). С. 273–277.
9. Углянец А. В. Сравнительная продуктивность лесных культур некоторых интродуцированных и местных древесных растений в условиях БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Минск, 1989. 24 с.
10. Справочник таксатора / под общ. ред. В. С. Мирошникова. Минск: Ураджай, 1980. 360 с.

### References

1. Pisarenko A. I. Prospects for the development of forest plantations as the basis of reforestation. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2014, no. 5, pp. 2–6 (In Russian).
2. Shtukin S. S. *Uskorennoye vyrashchivaniye sosny, eli i listvennitsy na lesnykh plantatsiyakh* [Accelerated cultivation of pine, spruce and larch on forest plantations]. Minsk, IOOO "Pravo i ekonomika" Publ., 2004. 242 p.
3. Shutov I. V. *Plantatsionnoye lesovodstvo* [Plantation forestry]. St. Petersburg, Izdatel'stvo politekhnicheskogo universiteta Publ., 2007. 366 p.
4. Reshetnikov V. F. Increasing forest productivity through the use of fast-growing tree species. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2002, no. 3, pp. 12–13 (In Russian).
5. Klebanov A. Plantation forest growing in the world. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2000, no. 2, p. 54 (In Russian).
6. *Recomendatsii "Plantatsionnoye vyrashchivaniye khvoynykh porod v Belarusi"* [Recommendations "Plantation growing of conifers in Belarus"]. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Resp. Belarus' Publ., 1999. 15 p.
7. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Code of the Republic of Belarus]. Minsk, Minleskhov Publ., 2000. 76 p.

8. Volovich P. I. On the introduction of introduced conifers in forest crops. *Trudy Instituta lesa NAN Belarusi* [Proceedings of the Forest Institute of the NAS of Belarus], 2001, issue 59: Selection, genetic resources and conservation of the gene pool of forest woody plants (Vavilovskiye chteniya), pp. 273–277 (In Russian).

9. Uglyanets A. V. *Sravnitel'naya produktivnost' lesnykh kul'tur nekotorykh introdutsirovannykh i mestnykh drevesnykh rasteniy v usloviyakh BSSR. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Comparative productivity of forest crops of some introduced and local woody plants in the conditions of the BSSR. Abstract of thesis cand. of agricult. sci.]. Minsk, 1989. 24 p.

10. Miroshnikov V. S. *Spravochnik taksatora* [The Handbook appraiser]. Minsk, Uradzhay Publ., 1980. 360 p.

#### **Информация об авторах**

**Усеня Владимир Владимирович** – 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

**Сторожишина Кристина Мирославовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий научным отделом. Жорновская экспериментальная лесная база (213763, г. Осиповичи, ул. Чапаева, 23а, Республика Беларусь). E-mail: storozhishina@gmail.com

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

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

**Storozhishina Kristina Miroslovovna** – PhD (Agriculture), Head of the Scientific Department. Zhor-novskaya Experimental Forest Base (23a, Chapayeva str., 213763, Osipovichy, Republic of Belarus). E-mail: storozhishina@gmail.com

*Поступила 24.10.2019*

УДК 630\*238

**С. С. Штукин<sup>1</sup>, П. И. Волович<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Институт леса Национальной академии наук Беларуси**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ,  
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ  
ПЛАНТАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСИНЫ**

В Республике Беларусь большая роль отводится развитию мощностей для переработки древесины. В связи с этим в нашей стране, как и во многих государствах мира, все большее внимание уделяется плантационному лесоводству, которое в перспективе может обеспечить возрастающие объемы заготовки балансовой древесины и тем самым снизить нагрузку лесозаготовок на естественные леса. Во избежание убытков от производства древесины на лесных плантациях следует учитывать различные варианты организационно-технических решений на разных этапах их функционирования. Важнейшим этапом создания лесных плантаций и организации их территории должна быть разработка специальных проектов. Для организации плантационного производства древесины особый интерес представляют земли, выведенные из сельскохозяйственного пользования, а на организацию этого процесса весомое влияние могут оказать возможные формы их собственности. Этап первоначальных инвестиций включает период от начала разработки проектной документации до начала проведения работ по рубкам ухода. Второй этап начинается после первого селекционного разреживания лесных плантаций и заканчивается перед возобновительной (заключительной) их рубкой. Третий этап (этап рубки плантаций) характеризуется тем, что после его проведения должно следовать полноценное возобновление вырубки.

В мировой практике преимущества и недостатки тех или иных методов, изобретений, технологий, разработок принято оценивать с точки зрения экологии, экономики, социальных и других эффектов. Для предотвращения отрицательных последствий при создании сырьевых баз на плантационной основе необходимо тщательно взвешивать все их достоинства и недостатки с разных позиций. Такой подход при оценке плантационного лесовыращивания является актуальным и для Беларуси.

**Ключевые слова:** целлюлозно-бумажное производство, лесные плантации, организационно-технологические этапы, формы собственности, преимущества и недостатки.

**S. S. Shtukin<sup>1</sup>, P. I. Volovich<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Institute of Forest of National Academy of Sciences of Belarus**ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL STAGES,  
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES  
OF PLANTATION PRODUCTION OF WOOD**

In the Republic of Belarus, much attention is paid to the development of wood processing facilities. Increasing attention is being paid to plantation forestry. Forest plantations should provide increasing volumes of harvesting, and thereby reduce the burden on logging in natural forests. In order to avoid losses from wood production on forest plantations, there should be various options for organizational and technical solutions at different stages of their functioning. The most important stage in the creation of forest plantations and the organization of their territory should be the development of special projects. For the organization of plantation forest cultivation, of particular interest are the lands withdrawn from agricultural use, and the possible forms of their ownership can have a significant impact on the organization of this process. The initial investment phase includes the period from the start of the development of project documentation to the start of thinning operations. The second stage begins after the first selective thinning of forest plantations and ends before their renewal (final) felling. The third stage (the stage of cutting plantations) is characterized by the fact that after its completion, a full-fledged renewal of the felled stand should follow.

In world practice, the advantages and disadvantages of certain methods, inventions, technologies, developments are usually evaluated from the point of view of ecology, economics, social and other effects. To prevent negative consequences when creating raw material bases on a plantation basis, it is necessary to carefully weigh all their advantages and disadvantages from different perspectives. Such an approach to the assessment of plantation forest growing is relevant for Belarus.

**Key words:** pulp and paper production, forest plantations, organizational and technological stages, forms of ownership, advantages and disadvantages.

**Введение.** Плантационное лесовыращивание представляет собой интенсивное лесохозяйственное производство, направленное на создание высокопродуктивных лесных культур – плантаций для ускоренного получения древесного сырья заданных сортиментов в большем количестве. В Республике Беларусь уделяется особое внимание развитию мощностей для переработки древесного сырья целевого назначения, главным образом для целлюлозно-бумажной промышленности, поэтому промышленное (плантационное) производство качественной балансовой древесины хвойных пород является в настоящее время актуальной задачей. Наряду с балансами большим спросом в нашей стране пользуется и крупная древесина сосны и ели.

Во многих странах мира быстро растут объемы производства древесины на лесосырьевых плантациях и, соответственно, площади самих плантаций [1]. Следуя общей закономерности, такая тенденция имеет место и в Беларуси, о чем свидетельствуют увеличивающиеся темпы заготовки и переработки древесины. Скорее всего это произойдет не сразу, а в течение нескольких десятков лет, поэтому эти годы следует рассматривать в качестве периода, необходимого для перемещения центра тяжести получения древесины перерабатывающими предприятиями из традиционных источников к ее целенаправленному производству на лесных плантациях. Соответственно, будет меняться во времени и сама организация территории плантационных лесов.

Многочисленные исследования в странах ближнего и дальнего зарубежья, в том числе и в Беларуси, по продуктивности лесных плантационных культур позволяют констатировать, что при определенных условиях и режимах их выращивания запас древесины в таких культурах может быть получен больший, чем в древостоях естественного происхождения [2, 3]. Поэтому идея плантационного производства древесины получила практическую значимость в нашей стране.

Уровень технического оснащения лесохозяйственного, лесозаготовительного и деревообрабатывающих производств возрос, получили дальнейшее развитие лесная сертификация, биоэнергетика. В Республике Беларусь для обеспечения деревообрабатывающих предприятий древесным сырьем в настоящее время создан рыночный механизм, основанный на обязательной продаже древесины в заготовленном виде на конкурсной основе на биржевых торгах, что обеспечивает равный доступ к сырью предприятий всех форм собственности, прозрачность сделок по ценам в соответствии со спросом и предложением.

Основные принципы и направления реализации лесной политики в стране определены

Лесным кодексом Республики Беларусь и другими нормативными правовыми актами в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов [4–6].

Лесные плантации в перспективе могут обеспечить возрастающие объемы потребления балансов хвойных и лиственных пород на достаточно ограниченных территориях с коротким оборотом рубки. Кроме того, перенос на лесные плантации даже части заготовок древесины из коренных древостоев естественного происхождения позволит в большей степени сохранить биоразнообразие и генофонд лесов Беларуси.

**Основная часть.** К созданию плантационных лесных культур в нашей стране приступили во второй половине XX в. Одновременно проводились многовариантные и длительные исследования по сокращению сроков выращивания балансовой и крупной древесины. В 80-х гг. прошлого столетия была принята даже целевая комплексная программа «Создание в европейско-уральской зоне СССР постоянной лесосырьевой базы на основе плантационного способа воспроизводства лесных ресурсов». В соответствии с этой программой предусматривалось создание плантационных лесных культур в течение нескольких десятилетий.

Начиная с 1984 и по 1990 г. в Беларуси на землях лесного фонда Гомельского и Могилевского ГПЛХО ежегодно создавали 200–900 га плантационных лесных культур сосны и ели. Всего за это время было заложено 4136 га таких культур, в которых в последующем предусматривалось селекционное разреживание по низовому методу с целью интенсификации выращивания древесины на балансы и пиловочник.

Работы по созданию плантационных культур хвойных пород возобновились в 2003 г. и продолжают по настоящее время, однако объемы их несколько сократились. При этом осваиваются и другие регионы страны (Брестская, Минская, Гродненская области), формируются лесосырьевые зоны вблизи промышленных потребителей древесины. За 20-летний период на землях лесного фонда заложено более 8,0 тыс. га плантационных культур хвойных пород. По отношению к размерам площади лесного фонда (9499,5 тыс. га) доля плантационных лесных культур в республике составляет небольшую величину (0,084%). При этом до настоящего времени мало известно, какая часть из упомянутых культур плантационного типа отвечает требованиям, предъявляемым к плантациям, и насколько они эффективны.

Общая площадь эффективных плантаций в странах Европы к концу XX в. составляла почти 100% от общей площади промышленных лесных плантаций, в мире – 81% [7]. Это связано

с тем, что некоторые лесные плантации малоэффективны из-за низкой продуктивности земель, плохой организации работ и неправильного выбора видового состава формируемых насаждений.

В Беларуси также создание лесов плантационного типа на отдельных участках приближается к традиционным технологиям создания лесных культур. При этом некоторые лесные плантации включаются в массивы обычных лесных насаждений и нелесных земель. Как правило, при разработке проектной документации на такие объекты имеет смысл постепенное наращивание площади лесных плантаций, что позволит, кроме всего прочего, снизить удельные затраты на строительство инженерных сооружений. Имеются в виду дороги, пожарные водоемы и сооружения, необходимые для профилактики лесных пожаров; площадки для размещения передвижных бытовых и производственных помещений персонала; площадки для машинно-тракторных агрегатов, их хранения и погрузочно-разгрузочных работ; гидроресурсолиберативная сеть (при необходимости ее устройства); ветро- и противопожарные барьеры из древесостоев лиственных пород.

Непосредственно к закладке лесных плантаций можно приступать после того, как на подобранной площади будут выполнены работы по организации ее территории. Для уменьшения расходов на строительство дорог, а также на закладку, выращивание будущих плантаций важно, по возможности, приблизить их к крупным предприятиям-потребителям древесного сырья, населенным пунктам и действующей дорожной сети, а также отдавать предпочтение условиям выращивания лесных плантаций в соответствии с рекомендациями, разработанными для Беларуси [8, 9].

Для организации плантационного лесовыращивания реальный и большой интерес представляют земли, выведенные из сельскохозяйственного использования, значительное количество которых может быть передано лесному хозяйству в связи с оптимизацией землепользования и исключением из севооборота участков пахотных земель с плодородием до 25 баллов, на которых в плане рационального землепользования не может быть обеспечено высокодоходное сельскохозяйственное производство. По предварительным данным, в ближайшей перспективе (2020–2025 гг.) планируется к репрофилированию около 1 млн га низкобалльных земель [10]. Эти земли хотя бы частично можно использовать для создания лесных плантаций. В результате передачи таких земель под лесные плантации, которые расположены, как правило, недалеко от дорог и последующее создание и выращивание на

них лесных плантаций позволит в будущем получать для нашей страны дополнительно около 10–12 млн м<sup>3</sup> древесного сырья нужного качества (в основном балансов).

Именно на этапе проектирования уже для конкретных условий и поставленных задач должны быть оценены разные варианты возможных решений по размещению плантационных культур; технологии их создания; режиму густоты стояния деревьев при производстве древесины и т. д.

На организацию территории при плантационном лесовыращивании и самого процесса производства древесины весомое влияние могут оказать следующие возможные формы их собственности:

– лесные плантации, находящиеся в лесном фонде Минлесхоза, управляемые и функционирующие на правах государственных предприятий, а взаимодействие поставщиков и потребителей продукции в данном случае заканчивается на этапе ее купли-продажи;

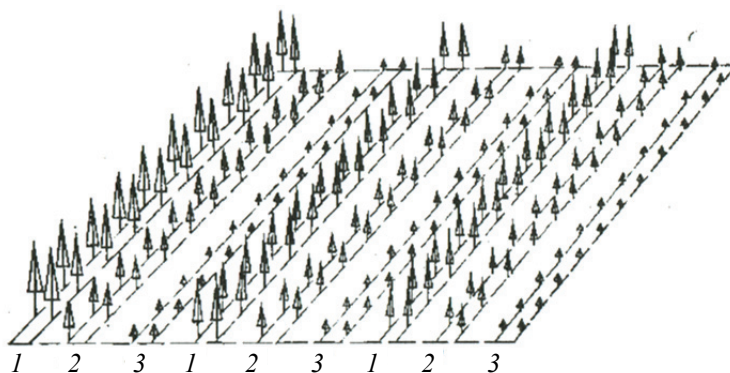
– лесные плантации, находящиеся в собственности крупных деревообрабатывающих предприятий в виде их лесосырьевых баз или дочерних предприятий, что может непосредственно влиять на количество и качество получаемой древесины в своей собственной сырьевой базе путем проведения разных вариантов технической политики;

– плантационные леса, находящиеся в собственности частных, смешанных коммерческих структур или совместных целевых комплексных предприятий, взаимодействующих с потребителями продукции на условиях купли-продажи.

Относительно менее затратным является производство древесины на лесных плантациях, организованных в режиме сплошно-лесосечных хозяйств [11]. В отдельных случаях по социальным или экономическим обстоятельствам предпочтительнее можно отдавать выборочно-лесосечному режиму выращивания древесины (рисунок).

Важнейшим этапом создания лесных плантаций вообще и организации их территории в частности всегда должна быть разработка специальных проектов.

Для того чтобы в конечном итоге производство древесины на лесных плантациях могло приносить доход и прибыль, нужны не только начальные долгосрочные вложения капитала, инвестиции, но и правильный подход как к целостному процессу, который нельзя прервать или оставить незавершенным. Во избежание убытков от производства древесины на лесных плантациях следует просчитывать варианты организационно-технических решений на разных этапах их функционирования. На основании опыта плантационного лесоводства, в том числе полученного в странах бывшего СССР, таких этапов может быть по меньшей мере три [11].



Возможное размещение разновозрастных древостоев  
на выборочно-лесосечной плантации

Этап первоначальных инвестиций включает период от начала разработки проектной документации до начала проведения работ по рубкам ухода в соответствии с СТБ [9]. В границах названного временного диапазона на плантациях сосны он должен быть завершён раньше, так как сосна растёт в ювенильном возрасте быстрее, чем ель, и конечно в культурах на самых плодородных почвах, обеспечивающих формирование древостоев I<sup>a</sup> и I классов бонитета.

Второй этап расходно-компенсационных затрат начинается после первого селекционного разреживания лесных плантаций и заканчивается перед возобновительной (заключительной) их рубкой. В зависимости от целевой направленности лесных плантаций и под влиянием других объективных причин продолжительность этапа может широко варьировать. Этап считается завершённым при следующих ориентировочных возрастах:

- 30–35 лет в варианте ускоренного получения мелкой древесины (обычных балансов);
- 35–40 лет в случае лесовыращивания с целью получения средней деловой древесины (крупные балансы, мелкий пиловочник);
- 40–45 лет в варианте, предусматривающем получение балансов (при рубках ухода по [9]) и пиловочных бревен;
- 45–50 (55) лет – аналогично предыдущему варианту, но с проведением обрезки сучьев у части деревьев для получения, кроме обычных балансов и пиловочника, пиловочных бревен высокого качества.

Третий этап, или этап возобновительной рубки (рубки плантационных насаждений), характеризуется тем, что после его проведения должно следовать полноценное возобновление вырубленного древостоя. В результате рубки плантационных насаждений должны быть получены целевые сортименты древесины при возможном минимуме затраченных на это средств и выполнении требований, позволяющих минимизировать наносимый ущерб плодородию почвы

и исключающих создание помех (препятствий) для незамедлительной закладки лесных плантаций новой ротации на данной площади.

В мировой практике преимущества и недостатки тех или иных методов, изобретений, технологий, разработок, приемов, предложений и т. п. принято оценивать с точки зрения экологии, экономики, социальных, этических и других эффектов. Некоторые из этих подходов при оценке плантационного лесовыращивания являются актуальными и для Беларуси. В частности, одним из критериев оценки являются преимущества и недостатки эффекта воздействия его на окружающую среду.

#### *Преимущества:*

- 1) вовлечение неиспользуемых в сельском и лесном хозяйствах земель и территорий;
- 2) мелиорация деградированных почвенно-экологических условий среды;
- 3) защита окружающей среды (предотвращение эрозии почв, закрепление склонов, предотвращение роста оврагов, регулирование уровня грунтовых вод, осветление сточных вод, защита от ветра, песчаных бурь и др.);
- 4) создание насаждений комплексного назначения как для защиты окружающей среды, так и для производства древесины и недревесных ресурсов;
- 5) связывание избыточного содержания углекислого газа в атмосфере;
- 6) снижение давления на природные леса при заготовке древесины.

#### *Недостатки:*

- 1) упрощение и разрушение сложившихся экосистем;
- 2) снижение уровня природного биоразнообразия;
- 3) нарушение структуры почв при предпосадочной подготовке площади и обработке почв, особенно на склонах, может привести к их эрозии;
- 4) истощение почв при многолетнем интенсивном лесовыращивании;

5) снижение уровня грунтовых вод;  
6) увеличение риска появления новых болезней и вредителей;

7) загрязнение окружающей среды удобрениями и инсектицидами.

Экономическая оценка лесных плантаций.

*Преимущества:*

– интенсификация ростовых процессов путем оптимального сочетания лучших древесных пород и условий местопроизрастания, а также внесения удобрений;

– однородные насаждения по составу, возрасту и размещению позволяют применить механизацию большинства процессов выращивания и рубки;

– повышение приростов, удешевление затрат на выращивание и рубку в пересчете на 1 м<sup>3</sup> древесины;

– возможность предварительного планирования и создания лесных плантаций разного целевого назначения (энергетические, короткороционные, многоцелевые плантации и др.) за счет различного размещения древесных растений;

– экономия на транспортных издержках при размещении плантационных насаждений вблизи крупных деревоперерабатывающих предприятий.

*Недостатки:*

– зависимость успеха от многих факторов (стоимости рабочей силы, возможности получения площадей для создания лесных плантаций, почвенно-климатических, политических и экономических условий в государстве, развитости инфраструктуры, наличия специальных машин и механизмов и др.);

– риски, связанные с длительным сроком выращивания (вероятностный характер окупаемости вложенных средств, риск форс-мажорных явлений природного и политического характера);

– сложность управления многолетними процессами производства, начало которых происходит в одних условиях с соответствующими потребностями и возможностями производства, окончание – в других условиях и с другими потребностями;

– необходимость сопряжения процессов выращивания древесины с процессами ее переработки, логистики, условиями и потребностями рынка.

Социальная значимость плантационного производства древесины.

*Преимущества:*

1) возможность повышать рациональность затрат, обеспечивая высокий уровень занятости на единицу инвестиций;

2) мотивация развития инфраструктуры: дороги, связь, бытовое обслуживание, жилье, магазины, школы и т. п., нередко в отдаленных районах;

3) способствование развитию рекреации и других социальных удобств.

*Недостатки:*

1) уменьшение доступа в леса местного населения;

2) ограничение прав по использованию земель для традиционного использования;

3) уменьшение местного контроля за рациональным использованием земель и лесов;

4) вытеснение сельских населенных пунктов, потеря дохода и средств к существованию, эстетическая деградация.

В процессе плантационного лесовыращивания к отрицательным результатам могут привести следующие факторы:

а) отсутствие постоянного наблюдения и ухода за лесными плантациями;

б) недостаток знаний о росте и продуктивности тех или иных видов древесных растений и особенностей создания их плантаций;

в) крупномасштабные работы по созданию лесных плантаций часто базируются на частичных результатах небольших экспериментов;

г) виды, формы, сорта, гибриды и клоны, отобранные для создания промышленных плантаций, которые адаптированы к климатическим или эдафическим условиям произрастания;

д) недостаточно квалифицированное планирование минимизирует или полностью исключает возможность реализации полученной продукции;

е) расчетная продуктивность лесных плантаций зачастую переоценена, а производственные затраты – недооценены.

Слишком оптимистичное отношение к различным аспектам, отраженным в этих положениях, ведет к значительным потерям затраченных сил и средств. Для предотвращения отрицательных последствий при создании сырьевых баз на плантационной основе необходимо тщательно взвешивать все их достоинства и недостатки.

**Заключение.** В Республике Беларусь уделяется достаточно большое внимание развитию мощностей для переработки древесного сырья целевого назначения, в особенности для целлюлозно-бумажной промышленности, поэтому промышленное (плантационное) производство качественной балансовой древесины хвойных пород является в настоящее время для нашей страны актуальной задачей. Ежегодное создание плантационных лесных культур сосны и ели в Беларуси начато на землях лесного фонда Гомельского и Могилевского ГПЛХО в 1984 г. При этом только за 20-летний период на землях лесного фонда было заложено более 8,0 тыс. га плантационных культур хвойных пород. Однако некоторые лесные плантации оказались малоэффективными из-за низкой продуктивности



земель, плохой организации работ и неправильного выбора видового состава формируемых насаждений. Нередко создание лесов плантационного типа мало отличалось от традиционных технологий создания лесных культур. В связи с этим во избежание получения негативных результатов от производства древесины на лесных плантациях следует учитывать различные варианты организационно-технических решений на разных этапах их выращивания. Важным условием успешности создания лесных плантаций и организации их территории должна быть разработка специальных проектов. К первому этапу первоначальных инвестиций следует относить период от начала разработки проектной доку-

ментации до начала проведения работ по рубкам ухода. Вторым этапом расходно-компенсационных затрат начинается после первого селекционного разреживания плантаций и заканчивается перед возобновительной (заключительной) их рубкой. Третий этап (этап рубки лесных плантаций) характеризуется тем, что после его проведения должно следовать полноценное возобновление вырубленного древостоя.

Преимущества и недостатки плантационного метода производства древесины с заранее заданными параметрами следует тщательно оценивать с точки зрения экологии, экономики, социальных, этических и других эффектов.

### Литература

1. Писаренко А. И., Страхов В. В. Перспективы развития лесных плантаций как основы лесовосстановления // *Лесное хозяйство*. 2014. № 5. С. 2–6.
2. Штукин С. С. Ускоренное выращивание сосны, ели и лиственницы на лесных плантациях / Минск: ИООО «Право и экономика», 2004. 242 с.
3. Маркова И. А. Лесокультурное дело на Северо-Западе России: в 2 ч. СПб.: СПбГЛТУ, 2013 г. Ч. 1. 180 с.
4. Лесной кодекс Республики Беларусь от 24 дек. 2015 г. № 332-3: принят Палатой представителей 3 дек. 2015 г. Минск: Минлесхоз, 2015. 128 с.
5. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 годы: утв. 23 дек. 2014 г., № 06/201-271. Минск: Минлесхоз, 2014.
6. Государственная программа «Белорусский лес» на 2016–2020 годы: утв. постановлением Совета министров Респ. Беларусь 18 марта 2016 г., № 215. Минск: Минлесхоз, 2015.
7. Царев А. П. Мировой опыт плантационного лесовыращивания // *Ученые записки Петрозаводского гос. ун-та*. 2010. № 6 (111). С. 42–48.
8. Рекомендации «Плантационное выращивание хвойных пород в Беларуси»: утв. М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 16.07.1999 № 131. Минск: Мин-во лесного хозяйства Респ. Беларусь, 1999. 15 с.
9. Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания. СТБ 2515-2017: утв. Постановлением Госстандарта Респ. Беларусь от 31 июля 2017 г. № 63. Минск: Госстандарт, 2017. 10 с.
10. Мороз Г. М. Рациональное использование выводимых из севооборота земель // *Белорусское сельское хоз-во*. 2004. № 2. С. 7–9.
11. Плантационное лесоводство / под общ. ред. И. В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 366 с.

### References

1. 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).
2. Shtukin S. S. *Uskorennoye vyrashchivaniye sosny, eli i listvennitsy na lesnykh plantatsiyakh* [Accelerated cultivation of pine, spruce and larch on forest plantations]. Minsk, IOOO “Pravo i economica” Publ. 242 p.
3. Markova I. A. *Lesokul'turnoye delo na Severo-Zapade Rossii* [Forestry and culture in the North-West of Russia]. St. Petersburg, SPb GLTU Publ., 2013. Part 1. 180 p.
4. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Code of the Republic of Belarus], 2015, no. 332-3. Minsk, Minleskhoz Publ., 2015. 128 p.
5. *Strategicheskyy plan razvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period s 2015 po 2030 gody* [Strategic plan for the development of the forestry sector for the period from 2015 to 2030]. Minsk, Minleskhoz Publ., 2014.
6. *Gosudarstvennaya programma “Belarusskiy les na 2016–2020 gody”* [State program “Belarusian Forest” for 2016–2020], 2016, no. 215. Minsk, Minleskhoz Publ., 2015.
7. Tsarev A. P. World experience of plantation forest growing. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific notes of Petrozavodsk State University], 2010, no. 6 (111), pp. 42–48 (In Russian).

8. *Plantatsionnoye vyrashchivaniye khvoynnykh porod v Belarusi: rekomendatsii* [Plantation growing conifers in Belarus: recommendations]. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 1999. 15 p.

9. STB 2515-2017. Forest plantation pine and spruce crops. Requirements for creation technologies. Minsk, Gosstandart Publ., 2017. 10 p. (In Russian).

10. Moroz G. M. The rational use of land withdrawn from the crop rotation. *Belorusskoye sel'skoye khozyaystvo* [Belarusian Agriculture], 2004, no. 2, pp. 7–9 (In Russian).

11. Shulov I. V. *Plantatsionnoye lesovodstvo* [Plantation forestry]. St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2007. 366 p.

#### **Информация об авторах**

**Штукин Сергей Сергеевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

**Волович Петр Игнатьевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем восстановления, защиты и охраны лесов ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси» (246654, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: petr.volovich@mail.ru

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

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

**Volovich Petr Ignat'yevich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher, the Laboratory for Forest Restoration, Protection and safety. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya, str., 246654, Gomel' Republic of Belarus). E-mail: petr.volovich@mail.ru

*Поступила 24.10.2019*

# ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

---

УДК 634.739.1

**Д. В. Гордей**

Белорусский государственный технологический университет

## **ОБРЕЗКА ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.): ЦЕЛИ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ**

В зависимости от возраста растений голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) и состояния кустов обрезку проводят с целью: 1) оптимизации соотношения надземной (крона) и подземной (корневая система) частей растений для лучшей приживаемости саженцев; 2) стимулирования появления новых побегов из основания куста для более быстрого формирования кроны растений после высадки их на постоянное место; 3) увеличения средней массы ягод и сокращения периода созревания урожая; 4) оптимизации размеров кроны кустов для обеспечения удобного сбора ягод, беспрепятственного прохода сельскохозяйственной техники и монтажа различного оборудования (поливная система, защитные сетки от града и птиц); 5) профилактики появления и сдерживания развития болезней и вредителей.

Проводят обрезку кустов в период глубокого покоя растений – с начала января и до начала апреля. В зависимости от целей обрезки и особенностей организации рабочего процесса используют различный набор инструментов и механизмов со специальным навесным оборудованием: одно- и двуручные секаторы, электросекаторы, садовые пилы, бензиномоторные пилы и мотокусторезы, а также тракторы с фрезами измельчителями. Экипировка рабочих должна включать прочные перчатки, головной убор, желательна с козырьком, защитные очки, наколенники и прочную обувь.

Последовательность работ при проведении обрезки голубики высокорослой предполагает: удаление мелкого прироста у основания куста и всех горизонтально расположенных ветвей; удаление больных, поврежденных побегов или их частей; формирование кроны куста; оптимизацию числа генеративных почек.

**Ключевые слова:** голубика высокорослая, обрезка, побеги формирования, генеративные почки, средняя масса ягод, инструмент для обрезки, последовательность проведения обрезки.

**D. V. Hardzei**

Belarusian State Technological University

## **CUTTING OF THE Highbush BLUEBERRY (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.): AIMS, ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL FEATURES OF CARRYING OUT**

Depending on the age of highbush blueberry plants (*Vaccinium corymbosum* L.) and the conditions of bushes, the cutting is carried out for purpose: 1) optimization of the ratio of aboveground (crown) and underground (root system) parts of plants for better survival of seedlings; 2) stimulating the emergence of new shoots from the base of the bush for faster formation of the crown of plants after planting them in a permanent place; 3) increase the average weight of berries and reduce the ripening period of the crop; 4) optimizing the size of the crown of bushes to ensure convenient picking of berries, unhindered passage of agricultural machinery and installation of various equipment (irrigation system, protective nets from hail and birds); 5) prevention of the occurrence and deterrence of the development of disease and pests.

Shrubs are cut during the period of deep dormancy of plants – from early January to early April. Depending on the purpose of trimming and the characteristics of the organization of the working process, a different set of tools and mechanisms with special attachments is used: one- and two-handed secateurs, electric cutters, garden saws, gasoline-powered saws and brush cutters, as well as tractors with milling cutters. Workers' outfits should include durable gloves, a hat, preferably with a visor, safety glasses, knee pads, and durable shoes.

The sequence of work when pruning tall blueberries assumes: removing small growth at the base of the bush and all horizontally located branches; removal of sick, damaged shoots or parts thereof; the formation of the crown of the bush; optimization the number of generative buds.

**Key words:** highbush blueberry, pruning, shoots, generative buds, average weight of berries, pruning tool, pruning sequence.

**Введение.** Голубиководство в Республике Беларусь – это динамично развивающаяся отрасль народного хозяйства, о чем свидетельствует неуклонный рост площадей, занятых голубикой высокорослой [1]. При этом отдельные вопросы агротехники еще сравнительно новой культуры требуют пояснения и более детального рассмотрения. Определенную сложность для фермеров и садоводов-любителей представляет обрезка кустов *Vaccinium corymbosum* L. Анализ литературных источников по обрезке голубики высокорослой в Беларуси свидетельствует о необходимости более широкого и полного изложения основ и нюансов проведения данного хозяйственного мероприятия [2–10].

**Основная часть.** Что же такое обрезка? Это частичное или полное (в случае омолаживающей обрезки) удаление побегов формирования и ветвления, а также в отдельных случаях ограничение их длины с целью:

1) оптимизации соотношения надземной (крона) и подземной (корневая система) частей растений для лучшей приживаемости саженцев;

2) стимулирования появления новых побегов из основания куста для более быстрого формирования кроны растений после высадки их на постоянное место;

3) увеличения средней массы ягод и сокращения периода созревания урожая;

4) оптимизации размеров кроны кустов для обеспечения удобного сбора ягод, беспрепятственного прохода сельскохозяйственной техники и монтажа различного оборудования (поливная система, защитные сетки от града и птиц);

5) профилактики появления и сдерживания развития болезней и вредителей.

Для лучшего понимания столь разнообразных целей, которые преследуют голубиководы при проведении обрезки, и более ясного постижения основ ее практического выполнения необходимо разобраться со строением куста голубики высокорослой и биологическими принципами формирования урожая культуры.

Растение состоит из двух диаметрально противоположных по морфологическому и анатомическому строению, а также выполняемым функциям частей: надземной, представленной кроной, и подземной, образованной корнями. Граница, разделяющая две эти части, проходит по корневой шейке куста и совпадает с уровнем поверхности почвы. Развитие корневой системы и кроны куста взаимословлено. При этом подземная часть имеет первоочередное значение для успешного развития надземной, т. е. без хорошо развитой корневой системы об успешном развитии кроны куста не может быть и речи.

Максимальную высоту, диаметр горизонтальной проекции и форму кроны кустов определяют побеги формирования – это ветви, берущие свое начало от основания куста и достигающие за один сезон до 1,5 м. Однолетние побеги формирования обычно представляют собой хлыстик с несколькими (или без них) побегами ветвления на вершине с гладкой корой красного или зеленого цвета. Начиная со второго года вегетации, окраска наружных покровов ветвей по причине отмирания и отслоения верхнего слоя коры постепенно становится белесой с черными пятнами. При этом в ряде случаев неопытными садоводами описанные выше изменения часто воспринимаются как признаки поражения болезнью. Отличить побеги старше двух лет уже практически невозможно, все они покрыты полосками отмершей и отслоившейся коры и только по диаметру у основания куста можно приблизительно судить об их возрасте.

Количество побегов формирования, характер расположения их в пространстве, расстояние, на котором они могут появиться друг от друга, продолжительность их жизни зависят от сорта голубики и особенностей агротехники возделывания. Для сортов с преобладанием в генотипе голубики щитковой (*Vaccinium corymbosum* L.) характерны длинные, мощные, вертикально расположенные и, как правило, немногочисленные побеги (Блюкроп, Хардиблю, Нельсон), тогда как для растений с примесью голубик узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) характерны низкорослые кусты с многочисленными и в той или иной степени горизонтально расположенными побегами (Норткантри, НортБлю).

Как правило, на самой вершине однолетнего побега формирования располагаются от трех до пяти или семи цветковых почек. Форма их округлая или шаровидная. Особенно хорошо генеративные почки заметны весной в период набухания. Ниже цветковых почек располагаются почки генеративные, имеющие удлинённую форму (рис. 1).

На второй год весной из вегетативных почек на побегах формирования развиваются многочисленные побеги ветвления. Длина их изменяется от 0,5 до 20 см. Осенью на вершинах данных побегов формируются крупные шаровидные генеративные или цветковые почки. В плане получения высококачественного урожая, крупных и однородных ягод именно двухгодичные побеги ветвления представляют наибольшую ценность. В последующие годы с увеличением порядка побегов ветвления их ягодная продуктивность уменьшается. Скопления побегов ветвления четвертого порядка и выше называются «кустистыми приростами» и они не только не

способны обеспечить получение полноценного урожая, но и оттягивают воду, элементы питания и пластические вещества у плодоносящих побегов. Дополнительно данные ветви усугубляют условия освещения куста.



Рис. 1. Побег голубики высокорослой с генеративными (вверху) и вегетативными (внизу) почками

Теперь несколько слов о биологических принципах формирования урожая культуры голубики. В первую очередь, следует уяснить, что количество цветковых почек, которое закладывает растение, практически всегда является избыточным для получения ягодной продукции высокого качества. Обусловлена такая «запасливость» желанием растений компенсировать возможные потери репродуктивных органов в результате воздействия отрицательных температур в осенне-зимний и весенний периоды года, а также болезней и вредителей в течение вегетационного сезона. При этом следует учитывать, что каждая почка обладает существенным потенциалом – из нее развивается соцветие, состоящее из 7 или 12 цветков. При обрезке мы искусственно сокращаем количество цветковых почек до оптимального количества. При этом по массе совокупный урожай растений с правильно выполненной обрезкой и без проведения данного хозяйственного мероприятия будет сопоставим, а вот его качество, без сомнения, будет выше в первом варианте, в котором средняя масса плодов будет больше.

При проведении обрезки следует учитывать, что она направлена не только на формирование урожая в текущем году, но и на закладку его основы для последующих лет в виде новых и хорошо развитых побегов формирования. При проведении обрезки необходимо соблюсти баланс между нагрузкой растений уро-

жаем и интенсивностью ростовых процессов. В идеале при проведении обрезки надо стремиться выйти на постоянный конвейер, когда старые побеги ежегодно будут заменяться молодыми, а урожай будет стабильным по величине и всегда высокого качества.

Проводить обрезку кустов желательно в период глубокого покоя растений – с начала января и до начала апреля. Внешним признаком их готовности к проведению данного хозяйственного мероприятия является полное опадение листьев, а о необходимости его закончить свидетельствует набухание и распускание почек. При этом лучшим сроком для проведения обрезки будет ранневесенний период (с начала марта и до начала апреля), когда после окончания зимы хорошо видны все повреждения побегов и можно не опасаться повторного воздействия на них крайне низких отрицательных температур [11].

Крупные фермерские хозяйства начинают обрезку кустов голубики непосредственно после сбора урожая ягод. Необходимость в столь раннем начале вызвана желанием увеличить продолжительность периода проведения хозяйственного мероприятия и выполнить большой объем работ меньшим числом квалифицированных рабочих. Как правило, данный подход способствует развитию более мощных по длине и диаметру побегов формирования второй волны роста. К недостаткам ранней обрезки следует отнести потерю части пластических веществ в результате обрезки облиственных растений и полное исключение возможности устранения зимних повреждений побегов.

Целенаправленно проводить данную работу весной после начала растениями вегетации и летом в ее разгар не рекомендуется в связи с высокой вероятностью заражения растений болезнетворными микроорганизмами через открытые раны. Тем не менее летом в обязательном и срочном порядке удаляют усыхающие побеги, пораженные грибом *Phomopsis vaccinii* Shear. При несвоевременном принятии мер возбудитель заболевания быстро распространяется от верхушки побега к корневой шейке и приводит к гибели всего растения. Пораженные побеги формирования вырезают как можно ближе к поверхности земли, а лучше ниже ее уровня на 1–2 см. В мае – июне с целью нормирования кустов урожаем допускается удаление избыточного количества плодовых кистей, а иногда и полностью побегов ветвления и формирования, перегруженных урожаем.

На протяжении всего вегетационного сезона по мере необходимости удаляют также поврежденные градом, ветром, сельскохозяйственной техникой, засухой, болезнями и вре-



дителями ветви и побеги (рис. 2). Оперативное проведение санитарной обрезки не только способствует более быстрому восстановлению кустов, но и в ряде случаев крайне необходимо для предотвращения гибели растений.



Рис. 2. Плодоносящие побеги голубики высокорослой, требующие удаления по причине дефолиации растения насекомыми

В зависимости от целей обрезки и особенностей организации рабочего процесса используют различный набор инструментов и механизмов со специальным навесным оборудованием. Основным орудием, находящим широкое применение для выполнения большинства операций, являются разнообразные секаторы. Одноручный секатор служит для срезания ветвей диаметром до 2,0–2,5 см. Его достоинства – это легкость и высокая доступность к подавляющей части побегов и ветвей в кроне куста. При большом объеме работ с целью повышения производительности труда оправдано использование одноручного электросекатора. Двуручный секатор позволяет не только эффективно удалять побеги толщиной до 5 см, но и при достаточной длине ручек обеспечивает снижение физической нагрузки за счет выполнения обрезки побегов из основания куста без приседания и сильного сгибания ног. В отдельных случаях уместно применение малой садовой пилы с длиной режущего полотна до 16 см, которой удаляют ветви, недоступные секатору (рис. 3).

Для качественного и легкого выполнения работы по обрезке кустов голубики весь ручной инструмент должен обладать хорошей эргономикой и характеризоваться высокой надежностью. Особые требования предъявляются к режущим лезвиям секаторов по выполнению ровного среза побега без замятия коры. В то же время конструкция секатора должна обеспечивать возможность легкой и удобной заточки режущих лезвий, а сталь, из которой они изго-

товлены, способствовать как можно более длительному сохранению остроты.



Рис. 3. Инструмент для проведения обрезки (снизу вверх одно- и двуручные секаторы, малая садовая пила)

В ряде случаев для удаления очень толстых ветвей возникает необходимость применения бензиномоторной пилы. При ее использовании в бак для смазки цепи желательно залить биомасло на основе рапса (Stihl BioPlus) или других растительных масел, которые будут быстро разлагаться в почве и не нанесут вреда окружающей среде. Альтернативой бензиномоторной пиле при проведении омолаживающей обрезки является мотокусторез со специальным диском для удаления кустарников и тонких деревьев. Применение двух вышеупомянутых инструментов позволяет сделать срез побега заподлицо с поверхностью земли. При использовании секаторов добиться такого качества выполнения работ затруднительно, особенно в посадках старше 20 лет, и над поверхностью земли остается несрезанная часть побега – пенек (рис. 4). Особенно актуально использование бензиномоторного инструмента при проведении сплошной омолаживающей обрезки, предполагающей полное удаление надземной части растений.

Тем не менее ряд операций, в числе которых удаление многочисленных однолетних побегов ветвления с цветковыми почками в нижней части двух- или трехлетних побегов формирования, намного эффективнее и быстрее выполнить путем ошмыгивания ветвей руками. Плотной обхватив ладонью и пальцами побег формирования снизу, резким рывком руку перемещают вверх, подламывая побеги ветвления. Вторым проходом сверху – вниз побеги ветвления удаляют окончательно. Проведение вышеописанной операции в два приема осуществляют с целью предотвращения чрезмерного обдиранья коры побега формирования. Для удобства выполнения работ используют плотные, кожаные или прорезиненные, перчатки, рукавицы или грубую хлопчатобумажную тряпку.



Рис. 4. Пеньки, оставленные при срезании побегов секатором

Для предупреждения развития болезней при переходе во время обрезки с одного куста на другой необходимо проводить периодическое обеззараживание режущих частей инструмента антисептиком. В качестве последнего можно использовать высокоспиртосодержащие жидкости или специальные фунгициды. Обработку желательно выполнять путем мелкодисперсного опрыскивания или распыления из флакона. Последующее воспламенение паров спирта будет способствовать более эффективной дезинфекции инструмента.

Открытые срезы на побегах голубики высокорослой облегчают путь проникновения в ткани растения болезнетворного начала разнообразных патогенных микроорганизмов, в связи с чем обработка растений контактными медьсодержащими фунгицидами до распускания листьев (Азофос) и системными после появления ассимилирующих органов (Скор, Пенкоцеб) также имеет важное значение для профилактики заболеваний.

Обрезка является одним из наиболее трудоемких и опасных хозяйственных мероприятий на плантации. Предшествовать работе должно обучение рабочих правильным приемам обращения с режущим инструментом с обязательным занесением отметки о прохождении инструктажа в журнал по технике безопасности. Рабочие должны знать, как оказывать первую медицинскую помощь пострадавшему. Необходимо обеспечить наличие правильно укомплектованной медицинской аптечки непосредственно на участке выполнения работ. Заранее уточняется ближайшее место, в котором пострадавшему может быть оказана медицинская помощь, и маршрут следования к нему.

Особое внимание следует обратить на экипировку рабочих, которая при проведении обрезки должна обязательно включать прочные перчатки, головной убор, желательно с козырьком, защитные очки, наколенники и прочную обувь (рис. 5). В сырую погоду при укладке веток лучше использовать прорезиненные перчатки.



Рис. 5. Экипировка рабочего для проведения обрезки голубики высокорослой

В зависимости от возраста растений голубики узколистной и состояния куста техника и объем выполняемых работ при обрезке будут существенно отличаться.

Обрезка саженцев голубики перед посадкой направлена на повышение их приживаемости и активизацию ростовых процессов растений. При проведении хозяйственного мероприятия у саженца, в первую очередь, удаляются куститые приросты у основания корневой шейки, а также все тонкие и горизонтально направленные побеги, загущающие крону и оттягивающие воду и питательные вещества. Во вторую очередь, для оптимизации соотношения надземной (крона) и подземной (корневая система) частей растения, а также уменьшения испарения и парусности растений на одну треть или половину сокращают длину побегов формирования (рис. 6). Особенно актуально проведение второго этапа обрезки для крупномерного посадочного материала (высотой более 70 см) с маленьким объемом корневой системы (2 или 3 л). При этом руководствуются следующим правилом: чем лучше развита корневая система и чем меньше она повреждена, тем большей длины оставляют побеги. Больные, отмершие, а также сильно сплетенные корни саженца, расправляют которыми руками получается с затруднением, подрезают непосредственно перед посадкой.



Рис. 6. Саженец голубики высокорослой до (слева) и после (справа) проведения обрезки



До полного вступления растений голубики в стадию плодоношения обрезку проводят преимущественно с целью формирования кроны кустов. При посадке двухлетних черенковых саженцев продолжительность ювенильного периода составляет обычно два или три года. Как и в случае обрезки растений перед посадкой, ежегодно удаляются кустистые приросты, горизонтально растущие побеги, а из молодых побегов оставляют только один или три наиболее сильных и развитых. Все тонкие и короткие побеги вырезаются. При этом у оставленных побегов как формирования, так и ветвления, удаляют верхнюю часть с цветковыми почками. Крона куста, представленная мощными побегами разных возрастных групп: от однолетних до четырех-, пяти- или шестилетних, – главная и конечная цель обрезки на данном этапе.

Более жесткие требования предъявляют к формирующей обрезке кустов для механизированного сбора урожая. С целью уменьшения потери ягод максимально сокращают расстояние между побегами у основания корневой шейки, а кроны растений формируют исключительно из прямостоячих и мощных побегов.

После полного вступления кустов в стадию плодоношения основной целью обрезки является формирование урожая ягод высокого качества. Все усилия направлены на получение урожая крупных ягод, созревающих в максимально сжатые сроки, характерные для данного сорта. Помимо этого, уход за кроной преследует своей целью обеспечение удобства сбора ягод. Кусты обрезают для беспрепятственного доступа к ягодам в кроне куста и обеспечения возможности заготовки ягод стоя. Актуальной в старовозрастных посадках становится и поддержание размеров кроны кустов для прохождения сельскохозяйственной техники и монтажа оборудования.

У растений удаляются все кустистые приросты и горизонтально расположенные побеги, а также отмершие и большие ветви. В зависимости от выбранного периода ротации побегов срезают все старые побеги, возраст которых превышает четыре, пять или шесть лет. При сложности определения возраста побегов удаляют все побеги диаметром больше 4–5 см. При этом в зависимости от характера роста кустов (вертикально растущие или раскидистые) применяют различные подходы при обрезке. В случае прямостоячих и компактных кустов удаляют ветви из середины кроны для предотвращения ее загущения (рис. 7), а в случае раскидистых кустов – распростертые ветви и ветви, лежащие на земле (рис. 8) [12]. В идеале крона куста должна быть сформирована 6–12 и реже большим количеством побегов разных возрастных групп в равных долях.



Рис. 7. Куст голубики высокорослой с компактной кроной и прямостоячими побегами до (слева) и после (справа) проведения обрезки



Рис. 8. Куст голубики высокорослой с широкой и раскидистой кроной до (слева) и после (справа) проведения обрезки

На промышленных плантациях в большинстве случаев обрезка плодоносящих кустов предполагает преимущественно полное удаление определенного числа побегов формирования. Реже проводят более полную обрезку оставленных побегов, которая предполагает удаление всех ветвей с цветковыми почками ниже 50 см, а также их прореживание в верхней части кроны куста путем срезания или ошмыгивания тонких и слабых, длиной менее 7–10 см. Число оставляемых цветковых почек после обрезки по сравнению с их исходным количеством уменьшается в два, а то и три раза. Исходный объем кроны куста без потерь урожая может быть снижен на 20–25%.

Продолжительность обрезки кустов голубики высокорослой, вступивших в стадию плодоношения, изменяется в пределах 5–15 мин.

В случае сильно запущенных кустов, когда обрезка не проводилась более 10 лет, а также интенсивного развития болезней или вредителей есть смысл проведения омолаживающей обрезки. При ее осуществлении полностью удаляется вся надземная часть куста. К достоинствам проведения данной обрезки следует отнести легкость и быстроту, а также возможность полного избавления плантации от паразитического или инфекционного начала. При этом есть и существенные недостатки, связанные с проведением омолаживающей обрезки, в числе которых нестабильная ягодная продуктивность посадок в ряде последующих

лет восстановления кроны кустов: отсутствие урожая в год проведения обрезки и резко выраженный пик на четвертый или пятый год с последующим резким падением, необходимость поддержания высокой агротехники возделывания голубики, прежде всего обеспечения достаточного полива и внесения оптимального количества минеральных удобрений, высокая восприимчивость молодых растений к болезням, формирование большого запаса фитомассы, благоприятствующей вспышкам массового размножения вредителей.

Во всех случаях проведения обрезки – от саженца до взрослого плодоносящего куста – необходимо соблюдать общую последовательность работ:

- 1) удалить мелкий прирост у основания куста и все горизонтально расположенные ветви;
- 2) удалить большие, поврежденные побеги или их части;
- 3) провести обрезку с целью формирования кроны куста;
- 4) оптимизировать количество генеративных почек в зависимости от возраста растения.

Поверхность среза должна быть гладкая, без замятия коры на оставляемой части побега. При удалении побегов ветвления срез делается как можно ближе к побегу формирования, от которого первый берет свое начало. Замазывать раны после удаления побегов ветвления нет особой необходимости, так как через два или три года побег формирования должен быть полностью удален. Поврежденную отрицательными температурами или болезнью часть побега срезают обычно до тех пор, пока окраска поперечного среза не станет зеленой (рис. 9) у однолетних или зеленовато-белой у более старых побегов. Для профилактики появления заболеваний или их дальнейшего развития желательно сделать срез на 1 или 2 см ниже здоровой части побега. Стимулировать развитие побега ветвления в заданном направлении путем среза побега формирования на нужную почку при весенней обрезке, а также санитарной обрезке летом у голубики не получается. В большинстве случаев ткани побега формирования отмирают на 0,5–4,0 см ниже места среза и образуется пенек, высота которого зависит от степени одревеснения побега.

При полном удалении побегов формирования (омолаживающая обрезка) срез делается заподлицо с поверхностью земли или на несколько сантиметров ниже ее уровня [13]. Не допускается оставление пеньков высотой больше 3–5 см, из которых в последующем развиваются слабые и низко продуктивные побеги.



Рис. 9. Зеленовато-белая окраска среза молодого и здорового побега голубики высокорослой

При проведении обрезки срезанные побеги укладывают пучками посередине междурядий культуры, располагая их основаниями в направлении будущего маршрута выноски (рис. 10).

Срезанные побеги и ветви без признаков поражения болезнями и насекомыми-вредителями можно измельчить навесной фрезой и заделать в почву, что будет способствовать повышению ее плодородия за счет внесения органического вещества и сохранения минеральных элементов питания в ней на участке плантации. При наличии признаков поражения побеги в обязательном порядке удаляют с территории плантации для последующего сжигания.

На плантациях голубики высокорослой обрезку проводят ежегодно или с интервалом в 1–2 года. Ежегодная обрезка позволяет организовать постоянную смену старых побегов молодыми. Достоинством ее является и возможность ежегодного контроля формы кроны кустов, определения дальнейших направлений ее развития и становления.



Рис. 10. Укладка срезанных побегов в междурядья культуры

Выбирая посадочный материал голубики высокорослой, следует учесть, что растения, полученные путем микроклонального размножения, характеризуются более высокой побегообразовательной способностью по сравнению с черенковыми саженцами и, соответственно, будут требовать более высоких затрат на обрезку. Особенно высокой склонностью к образованию коротких и непродуктивных побегов из основания куста характеризуются растения *in vitro* в течение первых пяти лет своей жизни.

Лучшим временем для анализа успешности выполнения обрезки голубики высокорослой является период плодоношения. Правильно выполненное хозяйственное мероприятие должно не только обеспечить получение максимального по размеру урожая ягод высокого качества, но и гарантировать развитие новых побегов как основы урожая следующих лет.

При выработке методики проведения обрезки голубики высокорослой следует учитывать сортовые особенности растений, погодноклиматические условия района расположения ягодного хозяйства, принимать во внимание возможность своевременного и полного проведения последующих агротехнических мероприятий (полив, внесение удобрений, проведение защитных обработок от болезней и вредителей).

**Заключение.** Вышеизложенные рекомендации – лишь попытка в общих чертах раскрыть широкую и многогранную тему обрезки голубики высокорослой. Более детальная и конкретная информация с практическими советами по проведению хозяйственного мероприятия для конкретных сортов *V. corymbosum* заслуживает отдельной статьи и планируется в дальнейшем.

### Литература

1. Титок В. В., Веевник А. А., Павловский Н. Б. Голубика высокорослая – инновационная культура премиум-класса // Наука и инновации. 2012. № 6 (112). С. 25–27.
2. Гладкова Л. И. Выращивание голубики и клюквы М.: ВНИИТЭИСХ, 1974. 63 с.
3. Курлович Т. В., Рубан Н. Н. Голубика высокорослая на приусадебном участке (руководство по выращиванию). Минск, 1990. 8 с.
4. Босак В. Н. Формирующая обрезка плодоносящих растений голубики высокорослой // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1996. № 4. С. 59–62.
5. Курлович Т. В., Босак В. Н. Голубика высокорослая в Беларуси. Минск: Беларуская навука, 1998. 174 с.
6. Курлович Т. В. Брусника, голубика, клюква, черника. М.: Издательский Дом МСП, 2005. 128 с.
7. Голубика высокая: рекомендации по выращиванию / Н. Н. Рубан [и др.] // Минск: Эдит ВВ, 2005. 15 с.
8. Павловский Н. Б. Возделывание голубики высокорослой // Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивание посадочного материала: сб. отрасл. регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2010. С. 375–393.
9. Курлович Т. В. Голубика на вашем участке. Минск: Красико-Принт, 2017. 80 с.
10. Подымняк М. Шесть правил обрезки голубики высокорослой // Ягодник. 2017. № 1 (3). С. 78–81.
11. Pritts M. P., J. F. Hancock. 1992. Highbush blueberry production guide. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Series 55, Ithaca, NY. 200 p.
12. Nicole Ward Gauthier, Cheryl Kaiser. Midwest Blueberry Production Guide. UPL <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/ID/ID210/ID210.pdf>. (accessed 11.11.2019).
13. David W. Lockwood, Alvin Rutledge. Pruning Blueberries Agricultural Extension Service the University of Tennessee. UPL [http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=utk\\_agexgard](http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=utk_agexgard) (accessed 11.11.2019).

### References

1. Titok V. V., Veevnik A. A., Pavlovskiy N. B. Highbush blueberry – innovative premium culture. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2012, no. 6 (112), pp. 25–27 (In Russian).
2. Gladkova L. I. *Vyrashchivaniye golubiki i klyukvy* [Blueberry and cranberry production]. Moscow, VNIITEISKH Publ., 1974. 63 p.
3. Kurlovich T. V., Ruban N. N. *Golubika vysokoroslaya na priusadebnom uchastke (rukovodstvo po vyrashchivaniyu)* [Highbush blueberry on the home plot (growing guide)]. Minsk, 1990. 8 p.
4. Bosak V. N. Forming cutting of fruit-bearing highbush blueberries plants. *Izvestiya Akademii agrarnykh nauk Respubliki Belarus'* [News of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Belarus], 1996, no. 3, pp. 59–62 (In Russian).

5. Kurlovich T. V., Bosak V. N. *Golubika vysokoroslaya v Belarusi* [Highbush blueberry in Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1998. 174 p.
6. Kurlovich T. V. *Brusnika, golubika, klyukva, chernika* [Lingonberries, blueberries, cranberries, bilberries]. Moscow, Izdatel'skiy Dom MSP Publ., 2005. 128 p.
7. Ruban N. N., Pavlovskiy N. B., Rupasova Zh. A., Galynskaya N. A., Ignatenko V. A., Pyatnitsa F. S. *Golubika vysokaya: rekomendatsii po vyrashchivaniyu* [Highbush blueberry: recommendation for growing]. Minsk, Edit VV Publ., 2005. 15 p.
8. Pavlovskiy N. B. Cultivation of highbush blueberry. *Organizatsionno-tekhnologicheskiye normativy vozdeleyvaniya ovoshchnykh, plodovykh, yagodnykh kul'tur i vyrashchivaniya posadochnogo materiala: sb. otraslevykh reglamentov* [Organizational and technological standards of cultivation of vegetable, fruit, berry crops and cultivation of planting material: collection of industry regulations]. Minsk, 2010, pp. 375–393 (In Russian).
9. Kurlovich T. V. *Golubika na vashem uchastke* [Highbush blueberry in your garden]. Minsk, Krasiko-Print Publ., 2017, 80 p.
10. Podymnyak M. 6 rules for cutting of highbush blueberry. *Yagodnik [Berry-grower]*, 2017, no. 1 (3), pp. 78–81 (In Russian).
11. Pritts M. P., J. F. Hancock 1992. Highbush blueberry production guide. *Northeast Regional Agricultural Engineering Service*. Series 55, Ithaca, NY. 200 p.
12. Nicole Ward Gauthier, Cheryl Kaiser. *Midwest Blueberry Production Guide*. Available at: <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/ID/ID210/ID210.pdf>. (accessed 11.11.2019).
13. David W. Lockwood, Alvin Rutledge. *Pruning Blueberries Agricultural Extension Service the University of Tennessee*. Available at: [http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=utk\\_agexgard](http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=utk_agexgard) (accessed 11.11.2019).

#### Информация об авторе

**Гордей Дмитрий Васильевич** – кандидат биологических наук, ассистент кафедры охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [gordey@belstu.by](mailto:gordey@belstu.by)

#### Information about the author

**Hardzei Dzmitry Vasil'yevich** – PhD (Biology), assistant, the Department of Hunting Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [gordey@belstu.by](mailto:gordey@belstu.by)

Поступила 18.11.2019

УДК 630.1.06

**Д. А. Подошвелев<sup>1</sup>, М. Ю. Вонселев<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>ГЛХУ «Белыничский лесхоз»**ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА КРУПНЫХ ФИТОФАГОВ  
В ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ**

С развитием современного общества возрастающее антропогенное воздействие привело к исчезновению многих крупных травоядных животных, птиц, а также хищников, которые выполняли роль поддержания экосистем исторически сложившихся ландшафтов в состоянии устойчивого развития.

В некоторых случаях механическое воздействие, в особенности на пойменные ландшафты, решает проблему их зарастания, но данный метод малоэффективен и требует больших затрат. В работе отражены общее состояние крупных фитофагов, обитающих в лесных биогеоценозах, а также их воздействие на леса. В местах наибольшей концентрации популяций имеющихся видов фитофагов проведены исследования для определения концентрации видов семейства оленьих, оценка биотопического распределения и их воздействия на лесные экосистемы. Согласно данным, самая большая концентрация наблюдается у популяции лося, в связи с чем данный вид оказывает наибольшее влияние на фитоценозы. Косуля европейская и олень благородный концентрируются в меньшей степени и не так влияют на древесно-кустарниковую растительность.

**Ключевые слова:** открытые ландшафты, пассивное управление, ревайлдинг, экосистема, устойчивое развитие, фитофаги, благородный олень, лось, косуля.

**D. A. Podoshvelev<sup>1</sup>, M. Yu. Vonselev<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>GFF “Belynichi Forestry”**FORMATION OF LARGE PHYTOPHAGE'S COMPLEX  
IN FOREST BIOGECENOSES**

With the development modern society, the increasing anthropogenic impact has led to extinction of many large herbivores, birds and predators that fulfilled the role of maintaining the ecosystems of historically developed landscapes in a state of sustainable development. In sometimes, mechanical impact in particular on floodplain landscapes to decide the problem regrowth them, but this method is inefficient and expensive. This work reflects the general condition of large phytophages living in forest biogeocenoses, as well as their impact on forests. Research were carried out for determine the concentration of red deer, elk, roe deer, an assessment of the biotopic distribution and their impact on forest ecosystems in the places of the highest concentration of populations of available phytophage species. According to the data, elk have the greatest concentration, and therefore this species has the greatest effect on phytocenoses. Roe deer and red deer are less concentrated and have less pronounced effect on trees and bushes.

**Key words:** open landscapes, passive management, rewilding, ecosystem, sustainable development, phytophages, red deer, elk, roe deer.

**Введение.** В настоящее время на глобальном уровне все больше внимание уделяется проблемам биоразнообразия. Интенсивное развитие человечества, урбанизация приводят к истощению числа видов животных и деградации экосистем, с которыми они взаимодействуют. Дикие животные представляют собой научную, эстетическую, культурную, рекреационную, экономическую и самобытную ценности [1]. Большой интерес для исследователей представляет вопрос влияния крупных фитофагов на различные биогеоценозы. При этом изучается комплексное взаимодействие различных популяций животных, поскольку виды

могут занимать разную экологическую нишу в экосистеме и выполнять в ней критически важную функцию [2, 3].

Отечественными и западными учеными доказано, что крайне важную роль в сохранении уникальных природных ландшафтов играют крупные фитофаги. В первую очередь это касается поддержания мозаичной структуры насаждений и открытости луговых и пойменных экосистем [4].

На данном этапе в лесах Беларуси из крупных фитофагов свободно обитают лось, олень благородный, зубр европейский, косуля, местами прослеживается лань. На территории



Полесского радиэкологического заповедника встречаются лошади Пржевальского. В рамках страны по различным причинам можно наблюдать сокращение численности тех или иных видов, обитающих на данной территории, из-за различных факторов, в том числе и антропогенных.

В разных типах лесных насаждений увеличение количества видов крупных фитофагов приводит к более разнообразной структуре насаждения относительно количества древесных видов и возраста древесных растений. Фитофаги также способствуют увеличению объема мертвой древесины, повышению доли в древостоях лиственных пород и восстановлению (поддержанию) водно-болотных территорий [5].

**Основная часть.** При проведении исследований обращалось внимание на тот факт, что, характеризуя состояние среды обитания популяций оленей, необходимо как можно более детально охватывать всю территорию, занимаемую данной популяцией. Однако в связи с большой площадью расчетной территории обитания оленей исследования проводились на тех участках, на которых была установлена наибольшей концентрации животных. Согласно лесохозяйственному районированию, места концентрации оленей совпали с территорией Бельничского и Светиловичского лесничеств ГЛХУ «Бельничский лесхоз».

С целью получения данных о предпочтении угодий оленями производилось изучение их биотопического распределения, т. е. распределения по участкам территории, обладающим схожими условиями обитания. В основу исследований был положен метод весеннего учета численности оленей по количеству кучек экскрементов. Этот метод описан в различных источниках, но для целей исследований он был значительно доработан путем внедрения современных технологий. Основные принципы описаны в разделе «Технология учета охотничьих животных семейства оленей по экскрементам» ТКП «Технология учета охотничьих животных». Сущность метода сводится к подсчету кучек зимних экскрементов животных на учетных лентах. Учет по экскрементам проводился весной в период после схода снега и до того времени, пока поднявшаяся трава сделает обнаружение кучек затруднительным.

Маршруты разбивались на участки по типам обследуемых угодий. Предварительно они намечались с помощью карты лесонасаждений (масштаб 1 : 50 000) или плана лесонасаждений (масштаб 1 : 25 000). По намеченным маршрутам проходили учетчики, подсчитывая встреченные ими кучки экскрементов на ленте шириной 4 м. Все кучки зимних экскрементов дифференцировались на оставленные самцами

и самками возрастом старше года и молодняком до года.

Таксационное описание участков получали из базы данных ГИС FORMAP. При анализе и характеристике учитывались три составляющие описания учетного участка: полевые материалы, изображение космоснимка и база данных ГИС FORMAP. Как правило, изображение, получаемое с космических снимков Google Earth общего доступа, имеет срок давности от 2 до 5 лет, база данных ГИС FORMAP содержит информацию последнего лесоустройства, актуальность которого может составлять от 2 до 10 лет.

Согласно проведенным исследованиям, были заложены четыре учетных маршрута. Общая длина их составила 17 км.

Проложенные маршруты проходили через различные биотопы охотничьего хозяйства ГЛХУ «Бельничский лесхоз», через места предположительно наибольшей концентрации семейства оленей. При прохождении маршрутов методами глазомерной таксации производилось определение лесоводственно-таксационных показателей насаждений, а также степень повреждаемости лесных культур и концентрация следов жизнедеятельности животных семейства оленей.

На рис. 1 представлен маршрут № 1, на котором выполнялись исследования. Маршрут проходит через кварталы 39, 40 Светиловичского лесничества.

Учетный маршрут затрагивает в основном биотопы сосновой формации. Так, на участках исследований встречались такие типы леса, как сосняк кисличный, сосняк мшистый, сосняк черничный, сосняк вересковый, сосняк долгомошный, а также ельник кисличный. На пути следования маршрута встретились также две невозобновившиеся вырубки (сосняк мшистый) и верховое болото (сосняк багульниковый).

Количество кучек на маршруте составило от 40 до 368 шт./га. В основном экскременты оставлены лосем. Лесные культуры повреждены слабо, но в некоторых местах (пункт 416) отмечалась сильная степень повреждения.

В пункте 433 были учтены экскременты оленя благородного, что говорит о пригодности участка для обитания данного вида.

На рис. 2 представлен маршрут № 2, который проходит через кварталы 49, 44 Светиловичского лесничества.

Данный учетный маршрут проложен через сосновые насаждения мшистого, черничного типов леса, а также березняк кисличный.

Отличительной особенностью заложеного маршрута является наличие большого числа лесных культур.

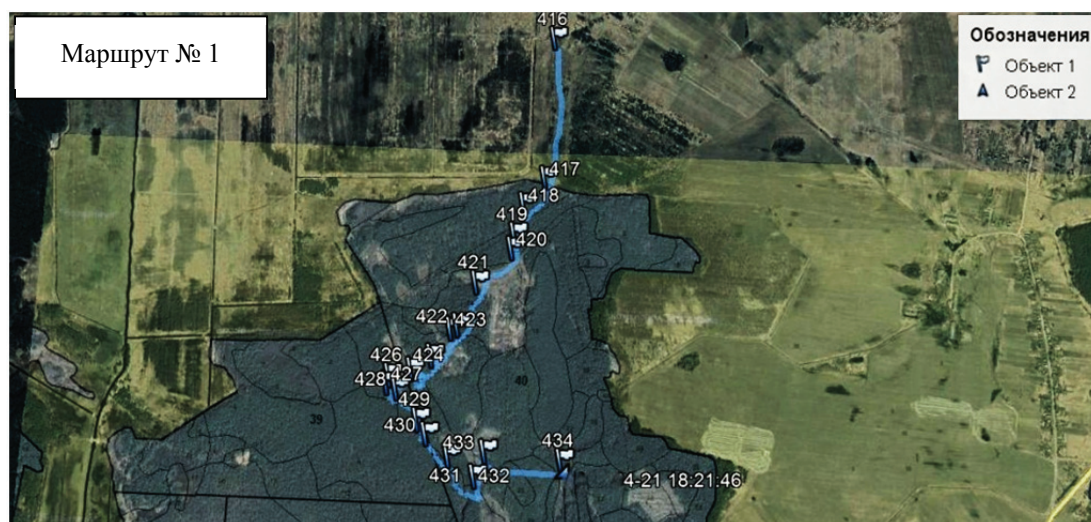


Рис. 1. Маршрут № 1

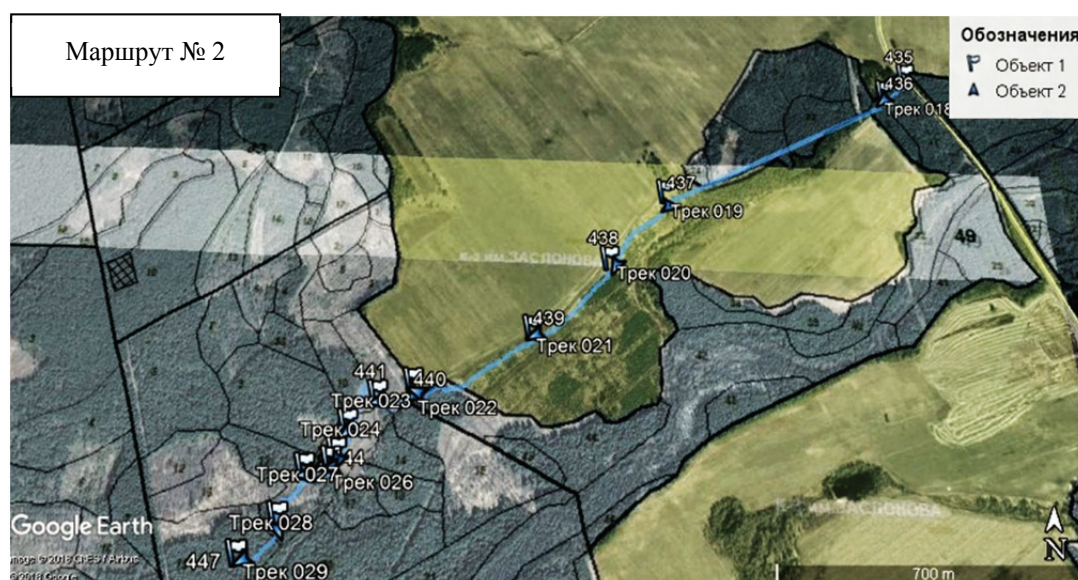


Рис. 2. Маршрут № 2

Количество кучек на маршруте № 2 составило 60–360 шт./га. Несмотря на высокую концентрацию лося на данном участке, лесные культуры имеют слабое повреждение.

На рис. 3 представлен учетный маршрут № 3, который проходит через кварталы 25, 27, 28, 30, 31 Светиловичского лесничества.

На данном учетном маршруте встречаются сосняки мшистый, орляковый, вересковый, а также ельник кисличный.

На маршруте № 3, в отличие от предыдущих участков, наблюдалось большое количество экскрементов, оставленных не только лосем, но и оленем благородным, и косулей европейской.

Количество кучек экскрементов, оставленных лосем, составило 30–158 шт./га. При этом на маршруте отмечалась очень слабая степень повреждения лесных культур.

На рис. 4 представлен учетный маршрут № 4, который проходит через кварталы 7, 8, 9 Светиловичского лесничества.

Данный маршрут имеет отличительную особенность расположения, так как лесной массив со всех сторон окружен полями сельскохозяйственного использования. Участок в основном представлен вырубками, возобновившимися осинкой, лещиной, малиной и другими кустарниками, а также насаждениями ели и осины. Кроме того, присутствует большое количество лесных культур ели и ели с дубом. При закладке маршрута на данном участке был обнаружен живорожденный теленок лося.

В отличие от предыдущих маршрутов, лесные культуры на изучаемом участке не имели видимых повреждений животными. Количество кучек, оставленных лосем, не превысило 110 шт./га.





Рис. 3. Маршрут № 3

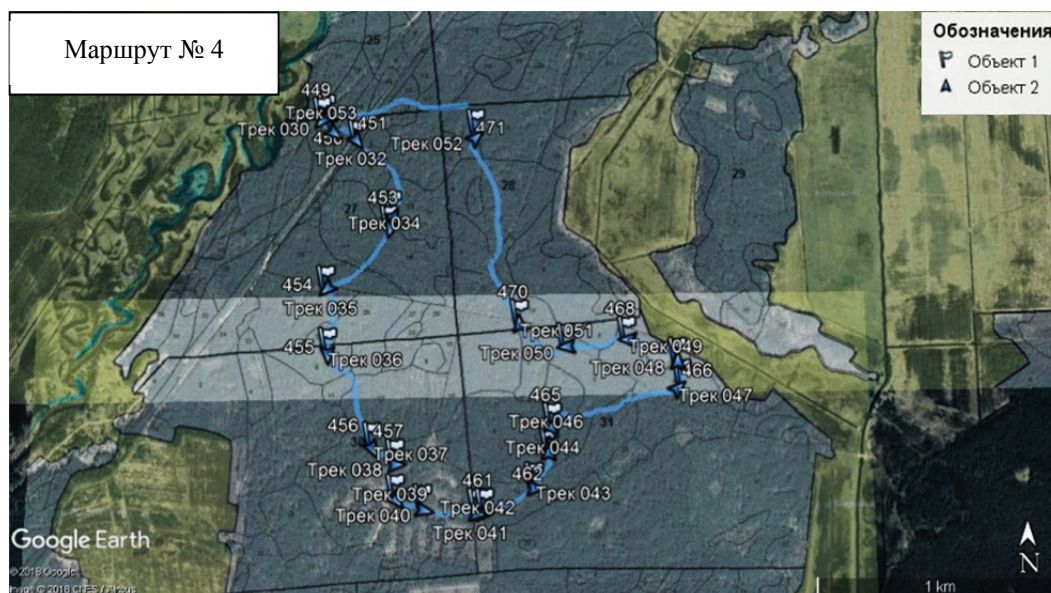


Рис. 4. Маршрут № 4

Согласно проведенным исследованиям, прослеживается четкая связь кормовой базы для лося и его концентрации. Наиболее привлекательными для лося являются чистые сосновые культуры. На этих участках встречаемость кучек экскрементов была максимальна. Также стоит отметить, что повреждаемость чистых сосновых культур сильная, а смешенных сосновых культур составом 8С2Б – слабая.

Для оленя предпочтение составили старовозрастные, низкополнотные сосняки черничные и мшистые, но, кроме того, его экскременты встречаются на вырубках, в ельнике, сосновых культурах и березняке.

Следует отметить, что наличие даже единичной встречаемости экскрементов оленя на

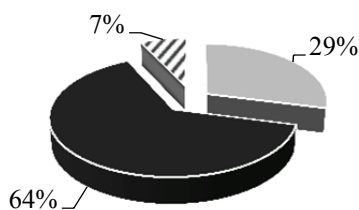
участке говорит о пригодности местообитания для данного вида [6, 7, 8].

Для более наглядной характеристики биотопического распределения видов семейства были рассчитаны коэффициенты концентрации и коэффициенты оценки верности биотопу. Данные коэффициенты имеют взаимосвязь между биотопическим распределением и влиянием оленя благородного и лося на древесно-кустарниковую растительность.

Согласно полученным данным, максимальное значение коэффициента концентрации для оленя благородного 18,30 наблюдается в березняке мшистом с составом древостоя 7БЗС, возрастом 6 лет. В этом же пункте учетного маршрута коэффициент оценки верности биотопу был равен 8,0650.

Рассчитанные коэффициенты показывают, что олень благородный среди прочих учетных биотопов отдает предпочтение именно данному виду фитоценоза.

По полученным данным была рассчитана половозрастная структура популяции оленя благородного (рис. 5).



■ – Самцы ■ – Самки ▨ – Сеголетки

Рис. 5. Половозрастная структура популяции оленя благородного

Согласно полученной в результате исследований половозрастной структуре, наблюдается преобладание самок над самцами, что должно благоприятно сказаться на ее развитии. Приблизительное соотношение самцов и самок составляет 2 : 1, что является близким к оптимальному (3 : 1).

Для более полного анализа рассчитана плотность популяций оленя, лося и косули (таблица).

#### Плотность популяций видов семейства оленьих

Вид	Плотность, особей/тыс. га
Олень благородный	1,0
Лось	7,2
Косуля	2,1

Как видно из таблицы, плотность оленя благородного по данным исследований наименьшая, что является возможной предпосылкой для дальнейшего увеличения количества особей этого вида. Наибольшая плотность лося по данным расчета подтверждает сильное воздействие его на древесно-кустарниковую растительность в районе исследований.

Следует отметить, что численность лося и оленя благородного в последние 7 лет стабильно растет. Так, численность лося в лесохозяйственном хозяйстве ГЛХУ «Белыничский лесхоз» увеличилась со 190 особей в 2012 г. до 328 особей в 2017 г. Численность косули за последние 5 лет заметно снизилась. Это могло быть вызвано снижением объемов биотехнических мероприя-

тий, ошибками, допускаемыми при учетах, миграцией в соседние охотничьи хозяйства, увеличением пресса хищниками, а также неблагоприятными метеорологическими условиями.

Материалы исследований свидетельствуют, что наиболее сформированной в изучаемом районе является популяция лося. Влияние лося на древесно-кустарниковую растительность прослеживается наилучшим образом по сравнению с другими видами этого семейства. Для оленя благородного угоды являются перспективными для развития, так как район исследования включает в себя разнообразные по составу биотопы, подходящие, в том числе, и для этого вида. Косуля – менее зависимый от лесной растительности вид, поскольку, в отличие от лося, не является выраженным дендрофагом. На условия ее обитания наибольшее влияние оказывает не характер растительности, а мелкоконтурность лесных угодий.

Стоит отметить, что наибольшая концентрация кучек экскрементов наблюдалась в чистых сосновых культурах, на вырубках или границах, а также в старовозрастных насаждениях с низкой полнотой и наличием густых подлеска и подроста. По типам леса наибольшее предпочтение отдается мшистому и черничному. Для лося привлекательными являются также заболоченные территории сосняков сфагнового и осоково-сфагнового.

**Закключение.** Согласно проведенным исследованиям, наибольшая концентрация отмечается у популяции лося, которая и оказывает значительное влияние на лесные фитоценозы. Косуля европейская и олень благородный концентрируются в меньшей степени и не так влияют на древесно-кустарниковую растительность.

Установлено, что концентрация лося в лесах ГЛХУ «Белыничский лесхоз» находится на высоком уровне. Выявлено, что лось, олень благородный и косуля по биотопическому распределению отдают предпочтение старым, не возобновившимся вырубкам, лесным культурам, в особенности чистым лесным культурам сосны, а также спелым древостоям с низкой полнотой и наличием подлеска. Олень благородный предпочитает черничные серии типов леса.

В целом можно рекомендовать увеличить численность популяций семейства оленьих, поскольку при правильном управлении это будет способствовать формированию различных по своей структуре и форме экосистем с большим разнообразием видов флоры и фауны.

#### Литература

1. Belova O., Depikas K. Dynamics and Sustainable Use of Moose (*Alces alces* L.) Population. *Baltic Forestry*. 2017, no. 3. P. 711–723.
2. Wouter Helmer, Deli Saavedra, Magnus Sylvén, Frans Schepers. Rewilding Europe: A New Strategy for an Old Continent. *Rewilding European Landscapes*. 2015, no. 1. P. 171–190.

3. Laetitia M. Navarro, Henrique M. Pereira Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. *Ecosystems*. 2012, no. 6. P. 900–912.
4. Henrique M. Pereira. Rewilding European Landscapes // Springer. 2015. 227 p.
5. Литвинов В. Ф., Юшкевич Н. Т., Подошвелев Д. А. Развитие охотничьего хозяйства Беларуси // Труды БГТУ. 2016. № 1: Лесное хозяйство. С. 259–263.
6. Козорез А. И. Распределение копытных в лесных охотничьих угодьях на примере Ружанской пуши // Труды БГТУ. Сер. I: Лесное хозяйство. 2009. Вып. XVII. С. 104–107.
7. Козорез А. И. Зимнее распределение копытных в лесных охотничьих угодьях северо-восточной части Налибокской пуши // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18–19 нояб. 2009 г.: в 2 ч. Минск, 2009. Ч. 2. С. 438–441.
8. Козорез А. И. Сравнительная характеристика зимнего биотопического распределения оленьих Ружанской и Налибокской пушц // Наука о лесе XXI века: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Ин-та леса НАН Беларуси, Гомель, 17–19 нояб. 2010 г. / Ин-т леса НАН Беларуси; редкол. А. И. Ковалевич. Гомель. 2010. С. 528–531.

### References

1. Belova O., Depikas K. Dynamics and Sustainable Use of Moose (*Alces alces* L.) Population. *Baltic Forestry*. 2017, no. 3, pp. 711–723.
2. Wouter Helmer, Deli Saavedra, Magnus Sylvén, Frans Schepers. Rewilding Europe: A New Strategy for an Old Continent. *Rewilding European Landscapes*. 2015, no. 1, pp. 171–190.
3. Laetitia M. Navarro, Henrique M. Pereira Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. *Ecosystems*. 2012, no. 6, pp. 900–912.
4. Henrique M. Pereira. Rewilding European Landscapes. *Springer*. 2015. no. P. 227.
5. Litvinov V. F., Yushkevich N. Y. Podoshvelev D. A. The development of hunting in Belarus. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, 2016, no. 1: Forestry, pp. 259–263 (In Russian).
6. Kozorez A. I. The distribution of ungulates in forest hunting grounds on the example of the Ruzhany Forest. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, series I, Forestry, 2009, issue XVII, pp. 104–107 (In Russian).
7. Kozorez A. I. Winter distribution of ungulates in forest hunting areas of the northeastern part of the Nalibokskaya Pushcha. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispol'zovaniya biologicheskikh resursov"* [Materials of the international Scientific and Practical Conference "Problems of conservation of biological diversity and use of biological resources"]. Minsk, 2009, pp. 438–441 (In Russian).
8. Kozorez A. I. Comparative characteristics of winter biotopic distribution of deer Ruzhanskaya and Nalibokskaya Pushcha. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 80-letiyu Instituta lesa NAN Belarusi "Nauka o lese XXI veka"* [Materials of the international Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Forest Institute of the NAS of Belarus "21st century forest science"]. Gomel, 2010, pp. 528–531 (In Russian).

### Информация об авторах

**Подошвелев Дмитрий Александрович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: podoshv@gmail.com

**Вонселев Максим Юрьевич** – мастер леса. ГЛХУ «Бельничский лесхоз» (213051, г. Бельнич, ул. Советская, 48, Республика Беларусь). E-mail: vonselew.maks@gmail.com

### Information about the authors

**Podoshvelev Dmitry Aleksandrovich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: podoshv@gmail.com

**Vonseleu Maksim Yurievich** – master of the forest. GFE "Belynichi Forestry" (48, Sovetskaya str., 213051, Belynichi, Republic of Belarus). E-mail: vonselew.maks@gmail.com

Поступила 05.12.2019

УДК 630.15

**Ю. И. Шумский<sup>1</sup>, А. А. Моложавский<sup>1</sup>, О. В. Бахур<sup>2</sup>**<sup>1</sup>РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов»<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**ДИНАМИКА ИЗЪЯТИЯ ВОЛКА  
В ОХОТНИЧЬИХ ХОЗЯЙСТВАХ****РГОО «БЕЛОРУССКОЕ ОБЩЕСТВО ОХОТНИКОВ И РЫБОЛОВОВ»**

В охотничьих хозяйствах многих стран мира отдают предпочтение разведению фитофагов (прежде всего копытных животных), при этом жестко регулируют численность хищных зверей, за исключением редких и исчезающих видов. В европейских странах к таким относится и волк, но в нашей республике численность данного вида весьма значительна. Волк сам по себе является индикатором стабильной экосистемы, но он оказывает влияние на численность популяций копытных и других животных, чем наносит ущерб охотничьему хозяйству страны. В 2017 г. по данным учетных работ численность волка превысила 2 тыс. особей, а начиная с 2012 г. не опускалась ниже 1,5 тыс. На этот период, вплоть до 2018 г., приходится и пик отстрела животных данного вида в республике. Большое количество волка на севере, а также юго-востоке республики добывается в хозяйствах РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов», чему способствует продуманная политика поощрения охотников.

Чаще всего охота на волка проводится попутно с охотой на другие виды животных. В последнее время повысился профессионализм охотников и много животных стало добываться целенаправленно на индивидуальных и коллективных охотах. В странах Евросоюза введен запрет на ввоз трофеев волка, снятие его позволило бы привлечь многих охотников из этих стран принять участие в добыче животных и сделало бы охотничьи хозяйства республики более привлекательными для посещения.

**Ключевые слова:** волк, охотничье хозяйство, регулирование численности, охотничий туризм.

**Yu. I. Shumski<sup>1</sup>, A. A. Malazhavski<sup>1</sup>, A. V. Bakhur<sup>2</sup>**<sup>1</sup>RSOO “Belarusian Society of Hunters and Fishermen”<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**DYNAMICS OF WOLF ELIMINATION  
IN HUNTING MANagements****RSPA “BELARUSIAN SOCIETY OF HUNTERS AND FISHERMEN”**

In hunting managements in many countries of the world prefer breeding of phytophages (primarily hoofed animals), while strictly regulating the number of predatory animals, with the exception of rare and endangered species. In European countries, the wolf belongs to such species, but in our republic the number of this species is very significant. The wolf itself is an indicator of a stable ecosystem. But wolf affects the number of populations of ungulates and other animals, which damages the hunting economy of the country. In 2017, according to counting, the number of wolves exceeded 2 thousand individuals, and starting from 2012, it did not decrease below 1.5 thousand. For this period, up to 2018, there is a peak in the getting of animals of this species in the republic. A significant part of the wolf is caught on the managements of the RSPA «Belarusian Society of Hunters and Fishermen», which is facilitated by a well-thought-out policy of encouraging hunters. The largest number of animals is caught on managements in the north and southeast of the republic.

Most often, wolves are hunted along the way when hunting other species of animals, but recently the professionalism of hunters has increased and many animals are hunted individually and collectively. In the EU countries, a ban was introduced on the import of wolf trophies into their territory; lifting the ban would allow attracting hunters from these countries to take part in the extraction of animals of this species and would increase the attractiveness of the hunting farms of the republic.

**Key words:** wolf, hunting management, regulation of numbers, hunting tourism.

**Введение.** Долгое время отношение человека к волку (*Canis lupus L.*) было однозначно – вредный хищник. Определялось такое мнение ущербом, который волк причинял населению. Несмотря на то, что современные технологии

продвинулись далеко вперед, понимание роли волка в природе изменилось незначительно, в лучшем случае указывается на его санитарные и регулирующие функции, истинная же роль хищника еще не изучена полностью и требует



всесторонних исследований [1]. Как крупный хищник он находится на вершине пирамиды питания и является индикатором состояния природного сообщества. Волк распространен по всей территории Беларуси, отдает предпочтение лесам вблизи населенных пунктов с развитым животноводством, часто встречается в хозяйствах с высокой численностью копытных животных.

В то же время для охотничьего хозяйства страны этот хищник нежелателен, так как за короткое время может свести на нет все усилия работников по увеличению численности охотничьих животных, поставить хозяйство на грань экономического краха.

**Основная часть.** Волк – высокоспециализированный хищник. Он питается в основном мясом лося, косули, оленя, кабана, зайца, птиц, домашних животных (в том числе падалью), часто употребляет плоды, ягоды [2]. Что касается суточного потребления корма волками, то в Беларуси при благоприятных кормовых условиях средняя стая волков за год добывает около 5430 кг животных, или 2,7 кг на одного волка в сутки. При бедной кормовой базе – 3546 кг, или 1,8 кг в сутки [3]. В то же время в ходе исследований, проводимых на польской части Беловежской пуцци [4], установлено, что одна волчья стая (в количестве 4–5 особей) добывает в среднем одно копытное каждые 2 дня. Жертвой чаще всего становятся олень либо кабан. При этом среднестатистически один волк добывает 42 копытных в год: в их числе 27 оленей, 13 кабанов, 2 косули. Средний ежедневный рацион хищника составляет 5,6 кг мяса, включая падаль. Как указывают

В. С. Романов и др. [5], 2000–2500 волков в течение года убивают 5500–6000 лосей, 7500–8000 кабанов, 4000–4500 косуль, около 200–250 оленей.

Еще пять лет назад волк официально считался нежелательным видом для народного хозяйства Беларуси [6]. По данным Плана управления популяцией волка в Республике Беларусь [3], в 2006–2008 гг. на территории страны обитало 195 волчьих стай, насчитывавших 834 особи. Экономический ущерб охотничьему хозяйству республики от потребления волками животных охотничьих видов (бобров, лосей, оленей, косуль, кабанов) в валютном выражении составляет от 2,2 до 2,9 млн евро в год. Не следует оставлять без внимания и роль волка в распространении бешенства.

Поскольку волк наносит определенный ущерб охотничьему и сельскому хозяйству республики, охота на его разрешена во все периоды года и на всех особей, независимо от пола и возраста, в том числе способами, запрещенными для охоты на другие виды животных (например, с использованием транспортных средств с включенным двигателем) [7].

Согласно статистическим данным, численность волка в Республике Беларусь на протяжении 2004–2017 гг. имела определенную тенденцию к росту, увеличившись за этот период с 1032 до 2113 особей (рис. 1). В то же время численность этого вида по данным учета 2018 г. резко снизилась – до 1348 особей, что привело к парадоксальной ситуации: показатель изъятия волка за 15-тилетний период наблюдений впервые в 2018 г. превысил показатель его численности.

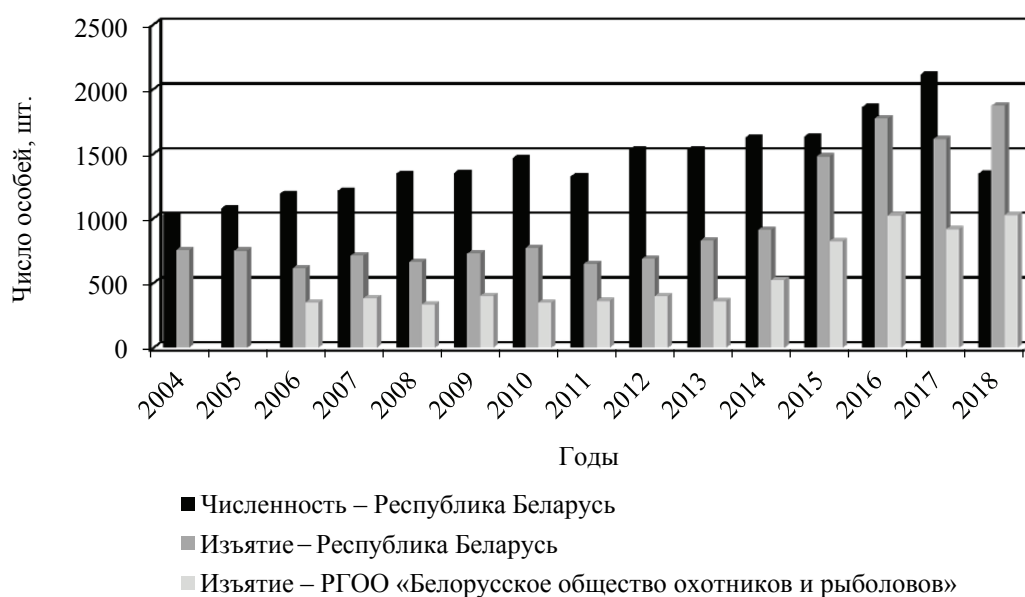


Рис. 1. Динамика численности и изъятия волка в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь и в хозяйствах РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов»

По нашему мнению, сложившаяся ситуация объясняется следующим образом:

– основной метод учета волка в данный период наблюдений – зимний маршрутный учет. Погрешность при использовании названного метода может достигать 40% и более. Кроме того, на качестве учетов сказываются метеорологические факторы;

– по всей вероятности, ситуация, при которой добыча волка превысила его численность, могла сложиться уже в 2017 г. Но учетом 2017 г., в отличие от 2018 г., была охвачена территория не только охотничьих угодий страны, а также, по возможности, и зон отселения и отчуждения, образовавшихся после аварии на Чернобыльской АЭС, т. е. косвенно здесь можно говорить и о имеющей место миграции волка с таких территорий в сопредельные охотничьи угодья. Исходя из этого, предлагается основным показателем для оценки ситуации с волком считать не показатель его численности, а показатель изъятия (добычи).

Что касается изъятия волка в республике, то с 2004 по 2012 г. этот показатель варьировал незначительно: на уровне 650–750 особей в год, затем в 2013–2014 гг. наблюдается его небольшой постепенный рост (829–913 особей), а уже с 2015 г. зафиксирован резкий рост данного показателя: 1481 особь (2015 г.), 1775 (2016 г.), 1664 (2017 г.), 1873 волков изъято в 2018 г.

По охотничьим хозяйствам РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов» наблюдается схожая картина. При этом отстрел волка в этих хозяйствах в зависимости от того или иного года составлял 44–58% от общереспубликанского. На первый взгляд, соотношение показателя изъятия по РГОО «Бе-

лорусское общество охотников и рыболовов» к общереспубликанскому не соответствует таковому по арендуемой площади охотничьих угодий. Следует учесть, что у хозяйств РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов» преобладают полевые охотничьи угодья (59%) в отличие от других охотпользователей, у которых преобладают лесные охотничьи угодья (в среднем 55%), наиболее пригодные для обитания волка.

Нужно сказать, что в рамках Государственной программы развития охотничьего хозяйства на 2006–2015 годы, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 08.12.2005 № 580, в стране ежегодно проводился республиканский конкурс по борьбе с волком, лисцей, енотовидной собакой. Победители и призеры этого конкурса в индивидуальном и бригадном зачетах на первом этапе получали определенное денежное вознаграждение, а затем в соответствии с условиями конкурса и Правилами ведения охотничьего хозяйства и охоты [6] – разовые разрешения на добычу того или иного охотничьего животного в охотхозяйствах страны.

В РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов» добыча волка начала стимулироваться с 2017 г. Суть этого стимулирования заключается в возможности приобретения охотником сезонной путевки или разового разрешения на добычу животного по минимальной стоимости [8].

В разрезе административных областей явными лидерами по добыче волка являются охотхозяйства Гомельской областной организационной структуры РГОО «Белорусского общества охотников и рыболовов» (рис. 2).

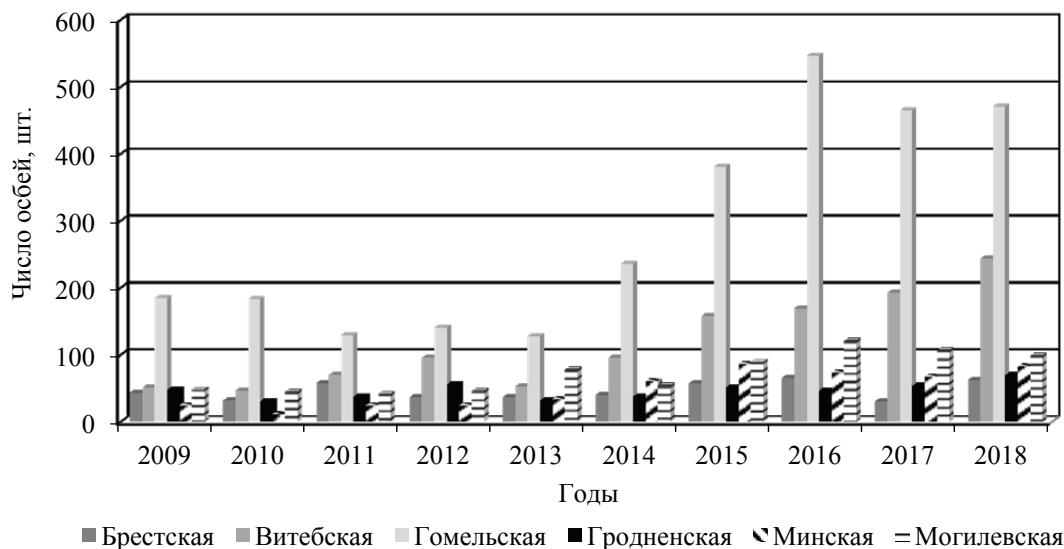


Рис. 2. Динамика изъятия волка в разрезе областных структур РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов»

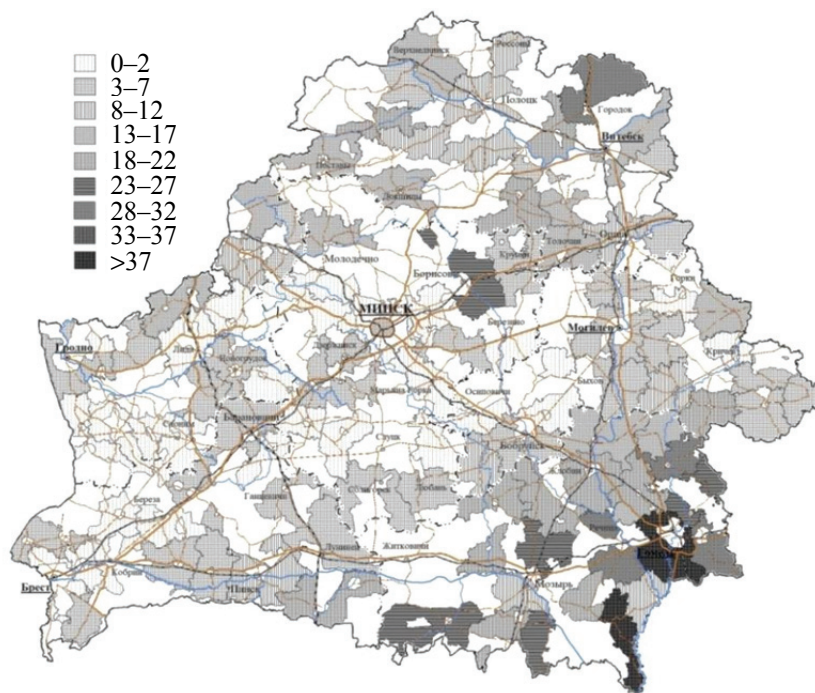


Рис. 3. Пространственное распределение изъятия волка в 2018 г. по организационным структурам РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов», особей

В последние 5 лет в хозяйствах области изымают 45–53% от общего количества добытых животных в хозяйствах РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов». В 2016 г. было добыто рекордное количество особей – 547.

Относительно высокими темпами изъятия волка характеризуются также охотхозяйства Витебской области, несколько в меньшей степени – Могилевской. Удельный вес этих охотхозяйств по данному показателю колеблется от 17 до 24% и от 10% до 12%, соответственно.

В значительной части хозяйств общества (44%) волк изымается в количестве 3–12 особей. В то же время велика доля охотничьих хозяйств (38%), в которых волк не добывается вовсе либо добывается небольшое количество особей (1–2).

В целом наиболее высокие темпы изъятия особей вида характерны для хозяйств юго-восточной и северной частей республики (рис. 3).

В юго-восточном регионе высокая численность волка во многом объясняется близостью расположения Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, а также зон отселения и отчуждения, откуда, по видимому, идет миграция волков в соседние охотхозяйства. Данные по численности этого вида здесь значительно разнятся. Так, В. Ч. Домбровский и др. [9] установили, что численность волка на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника находится в пределах 80–100 особей при средней плотности его популяции 4,8 особи на

100 км<sup>2</sup>. Схожая картина по численности (90 особей) и плотности (4,2 особи/100 км<sup>2</sup>) волка ранее выявлена В. Е. Сидоровичем и др. [10]. По данным учетов по состоянию на февраль 2017 г., численность волка в заповеднике составила 190 особей.

Чаще всего (до 38%) охотники добывают волка попутно при проведении охот на других животных. В то же время в связи с ростом профессионализма имеет место тенденция роста добычи на вабу (27% волков изъято в 2018 г.). Набирает популярность индивидуальная охота на волка у привады, коллективная охота флажком.

**Заключение.** Безусловно, сохранение жизнеспособной популяции волка, являющегося видом Конвенции СИТЕС, для республики – важная задача. Но необходимо признать, что в настоящее время вопрос о сохранении популяции не является актуальным, скорее, речь необходимо вести о снижении ее численности в отдельных регионах Беларуси.

Популяция волка в Республике Беларусь рассматривается в странах Евросоюза как одна из донорских, поддерживающих становление популяции в странах Восточной Европы. И это послужило причиной для введения запрета на вывоз желанных для охотника трофеев волка в страны Евросоюза. Снятие этого запрета позволило бы усилить экспортный потенциал охотничьих хозяйств, прежде всего расположенных на юго-востоке страны.



### Литература

1. Кочетков В. В. Управление популяциями волка: желаемое или действительное // Охота и охотничье хозяйство. 2013. № 2. С. 10–15.
2. Бахур О. В., Ровкач А. И. Биология лесных зверей и птиц. Основы охотоведения: учеб. пособие. Минск: РИПО, 2015. 324 с.
3. План управления популяцией волка в Республике Беларусь: одобрен решением коллегии Министерства природы от 30.09.2009 № 06/22. 16 с.
4. Шмидт К. Волк и рысь не являются причиной падения численности копытных // Тематический портал WILDLIFE.BY («Дикая природа Беларуси») [Электронный ресурс]. 2014. URL: [https://wildlife.by/science/standpoint/%C2%ABVolk%20i%20risy%20ne%20yavlyayutsya%20prichinoy%20padeniya%20chislennosti%20kopitnih%C2%BB/?sphrase\\_id=14491](https://wildlife.by/science/standpoint/%C2%ABVolk%20i%20risy%20ne%20yavlyayutsya%20prichinoy%20padeniya%20chislennosti%20kopitnih%C2%BB/?sphrase_id=14491) (дата обращения: 15.10.2019).
5. Романов В. С., Козло П. Г., Падайга В. И. Охотоведение. Минск: Тесей, 2005. 448 с.
6. О некоторых мерах по повышению эффективности ведения охотничьего хозяйства и рыбохозяйственной деятельности, совершенствованию государственного управления ими: Указ Президента Респ. Беларусь от 08.12.2005 № 580 (ред. от 23.07.2010 № 386) / Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2010. № 188. 1/11816.
7. Об охоте и ведении охотничьего хозяйства: Указ Президента Респ. Беларусь от 21.03.2018 № 112 // Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2018. № 188. 1/17607.
8. О некоторых вопросах охоты и ведения охотничьего хозяйства: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 14.06.2018 № 454 // Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь, 2018 г., № 5/45282.
9. Если не стрелять: численность, территориальная структура и хищничество волка в зимний период 2016–2017 гг. в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / В. Ч. Домбровский [и др.] // Современные проблемы охотоведения и сохранения биоразнообразия: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию со дня рождения В. С. Романова, Минск, 16–17 мая 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет. Минск: БГТУ, 2017. С. 93–97.
10. Sidorovich V. Potential population density in wolves (*Canis lupus*) in Belarus // Proceeding of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series. 2012. Vol. 3. P. 113–116.

### References

1. Kochetkov V. V. Management of wolf populations: desired or actual. *Okhota i okhotnich'ye khozyaystvo* [Hunting and Hunting management], 2013, no. 2, pp. 10–15 (In Russian).
2. Bakhur A. V., Rovkach A. I. *Biologia lesnykh zverey i ptits. Osnovy okhotovedeniya* [Biology of forest animals and birds. The basics of hunting]. Minsk, RIPO Publ., 2015. 324 p.
3. *Plan upravleniya populyatsiyey volka v Respublike Belarus'* [The wolf population management plan in the Republic of Belarus], 2009, no. 06/22.16 p. (In Russian).
4. Shmidt K. Wolf and lynx are not the cause of the decline in the number of ungulates. *Tematicheskii portal WILDLIFE.BY ("Dikaya priroda Belarusi")* [Thematic portal WILDLIFE.BY ("Wildlife of Belarus")] [Electronic resource], 2014. Available at: [https://wildlife.by/science/standpoint/%C2%ABVolk%20i%20risy%20ne%20yavlyayutsya%20prichinoy%20padeniya%20chislennosti%20kopitnih%C2%BB/?sphrase\\_id=14491](https://wildlife.by/science/standpoint/%C2%ABVolk%20i%20risy%20ne%20yavlyayutsya%20prichinoy%20padeniya%20chislennosti%20kopitnih%C2%BB/?sphrase_id=14491) (accessed 15.10.2019).
5. Romanov V. S., Kozlo P. G., Padayga V. I. *Okhotovedeniye* [Hunting]. Minsk, Tesey Publ., 2005. 448 p.
6. *O nekotorykh merakh po povysheniyu effektivnosti vedeniya okhotnich'yego khozyaystva i rybokhozyaystvennoy deyatel'nosti, sovershenstvovaniyu gosudarstvennogo upravleniya imi* [On some measures to increase the efficiency of hunting and fisheries management, to improve state management of them], 2010, no. 188, 1/11816 (In Russian).
7. *Ob okhote i vedenii okhotnich'yego khozyaystva* [On hunting and hunting management], 2018, no. 188, 1/17607 (In Russian).
8. *O nekotorykh voprosakh okhoty i vedeniya okhotnich'yego khozyaystva* [On some issues of hunting and hunting management], 2018, no. 5/45282 (In Russian).
9. Dombrovsky V. Ch., Beasley J., Schlichting P., Webster S., Love C., Chamovich D. If not to shoot: abundance, territorial structure and predation of the wolf in the winter of 2016–2017 in the exclusion zone of the Chernobyl NPP. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya V. S. Romanova "Sovremennyye problemy okhotovedeniya i sokhraneniya bioraznoobraziya"* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th Birthday of V. S. Romanov "Modern Problems of Hunting and Biodiversity Conservation"]. Minsk, 2017, pp. 93–97 (In Russian).
10. Sidorovich V. Potential population density in wolves (*Canis lupus*) in Belarus. *Proceedings of the National academy of sciences of Belarus. Biological series*, 2012, vol. 3, pp. 113–116.

**Информация об авторах**

**Шумский Юрий Иванович** – председатель. РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов» (220012, г. Минск, пер. Калинина, 16, Республика Беларусь). E-mail: rgooboog@mail.ru

**Моложавский Анатолий Александрович** – кандидат биологических наук, заместитель председателя. РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов» (220012, г. Минск, пер. Калинина, 16, Республика Беларусь). E-mail: malazhavskiaa@mail.ru

**Бахур Олег Владимирович** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oleg\_bahur@belstu.by

**Information about the authors**

**Shumski Yury Ivanovich** – Chairman. RSOO “Belarusian Society of Hunters and Fishermen” (16, Kalinin lane, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rgooboog@mail.ru

**Malazhavski Anatoli Aleksandrovich** – PhD (Biology), Vice-chairman. RSOO “Belarusian Society of Hunters and Fishermen” (16, Kalinin lane, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: malazhavskiaa@mail.ru

**Bakhur Aleh Vladimirovich** – PhD (Biology), Associate Professor, Assistant professor, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oleg\_bahur@belstu.by

*Поступила 15.10.2019*

# ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

---

УДК 630\*363.7

**А. О. Германович**

Белорусский государственный технологический университет

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИБРОУСКОРЕНИЙ МОБИЛЬНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ «АМКОДОР 2904»

В настоящее время во многих странах мира наблюдается повышение интереса к возобновляемым источникам энергии. Это связано с непрерывно уменьшающимися запасами ископаемых энергоносителей, ухудшением экологии, связанной с газовыми выбросами, приводящими к парниковому эффекту, а также стремлением многих стран к энергонезависимости и энергобезопасности. Одним из таких источников энергии является древесина. Переработка отходов лесозаготовок при помощи мобильных рубильных машин является одной из наиболее доступных и в то же время эффективных технологий переработки древесины на топливную щепу. В процессе измельчения древесного сырья к резцам прикладываются усилия, величины которого зависят от сопротивления резанию. Усилие, которое приложено к резцу, в процессе резания изменяется. Оно достигает максимума при внедрении и падает до наименьшего значения в момент отделения щепы от древесного сырья. Такое изменение усилий резания приводит к вынужденным колебаниям рубильной установки. Возмущающее воздействие от периодически изменяющихся сил резания описывается в виде гармонической функции. Основными параметрами колебаний являются частота, амплитуда колебаний, колебательная скорость и колебательное ускорение, а к нормируемым параметрам на рабочих местах относятся уровень виброскорости, уровень виброускорения.

**Ключевые слова:** биоэнергетика, измельчение, колебания, рубильная машина, щепка, эксперимент.

**A. O. Hermanovich**

Belarusian State Technological University

## DETERMINATION OF VIBRATION ACCELERATION OF MOBILE CHIPPER MACHINES “AMKODOR 2904”

Currently, in many countries of the world there is an increasing interest in renewable energy sources. This is due to continuously decreasing reserves of fossil energy sources, environmental degradation associated with gas emissions, leading to the greenhouse effect, as well as the desire of many countries for energy independence and energy security. Wood is one such energy source. Recycling waste logging using mobile chipping machines is one of the most affordable and at the same time effective technologies for processing wood for fuel chips. In the process of grinding wood raw material, efforts are applied to the cutters, the magnitudes of which depend on the resistance to cutting. The force that is applied to the cutter changes during the cutting process. It reaches a maximum when introduced and falls to its lowest value at the time of the separation of chips from wood raw materials. Such a change in cutting forces leads to forced vibrations of the chipper installation. The disturbing effect of a periodically varying cutting force is described as a harmonic function. The main parameters of oscillations are frequency, amplitude of oscillations, oscillatory speed and oscillatory acceleration, and normalized parameters at workplaces include the level of vibration velocity, vibration acceleration level.

**Key words:** bioenergetics, shredding, vibration, chipper, chips, experiment.

**Введение.** В процессе заготовки древесины, а также ее первичной переработки на лесозаготовительных предприятиях образуются отходы, которые в дальнейшем могут использоваться в

производстве. Одним из путей решения задачи комплексного использования древесины является переработка древесных отходов на щепу при помощи рубильных машин. Существует

множество типов данной техники, а их работа связана с резкопеременным характером воздействия технологической или полезной нагрузки, вследствие этого при измельчении древесного сырья появляются колебания. Длительное воздействие вибрации вызывает негативные изменения физиологических функций человека, а также ведет к снижению производительности мобильной рубильной машины в целом [1].

**Основная часть.** Колебания, возникающие в процессе измельчения древесного сырья в щепу мобильной рубильной машиной, формируют актуальную задачу необходимости проведения экспериментальных исследований. Основной целью экспериментального исследования являлось определение движения системы в процессе работы рубильной машины, т. е. нахождение независимых, изменяющихся во времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс данной системы [2–6].

Объектом исследовательских испытаний являлась мобильная рубильная машина «АМКОДОР 2904», изготовленная заводом «Дормаш» ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга (рис. 1). Самоходная рубильная машина на мобильном шасси предназначена для измельчения в щепу стволовой низкокачественной древесины, порубочных остатков, отходов лесопиления и другого древесного сырья.



Рис. 1. Объект исследовательских испытаний – мобильная рубильная машина «АМКОДОР 2904»

Рубильная машина состоит из соединенных шарниром переднего тягового и заднего технологического модулей базовой машины и технологического оборудования: гидроманипулятора, рубильной установки, автономного двигателя.

В состав базовой машины входят: передняя и задняя полурамы, шарнир, кабина, двигатель с системами, трансмиссия, передний и задний ведущие мосты, приводы управления, тормозная система, электрооборудование, гидросистема.

При определении параметров общей вибрации опытного образца мобильной рубильной

машины производились измерения уровней виброускорений рубильной установки, рамы, кабины и кресла оператора. Для записи параметров использовалась измерительная аппаратура в составе портативного переносного компьютера со специальным программным обеспечением PULSE (рис. 2), анализатора PULSE 3560-С (портативного блока сбора данных) (рис. 3) и четырех вибродатчиков (акселерометров) [7, 8]. Измерительная аппаратура подсоединялась по схеме подключения, представленной на рис. 4.

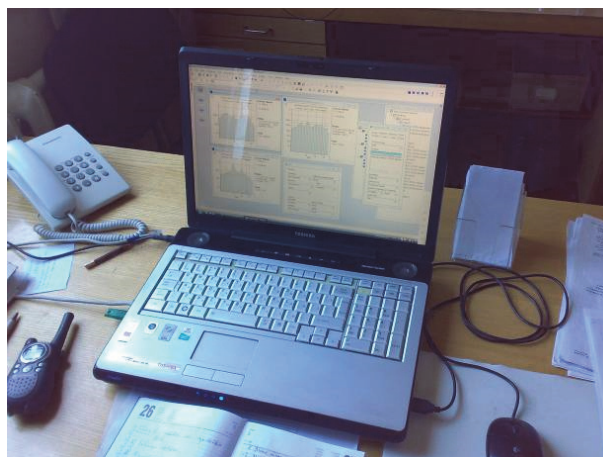


Рис. 2. Портативный переносной компьютер со специальным программным обеспечением PULSE



Рис. 3. Анализатор PULSE 3560-С

Анализатор PULSE 3560-С представляет собой портативную систему сбора данных с блоком питания, работающую от аккумуляторных батарей или источника постоянного тока. Через модуль управления осуществляется связь с компьютером, в то время как модуль ввода/вывода обрабатывает поступающие сигналы измерений и выдает тактовые импульсы для взятия отсчетов.



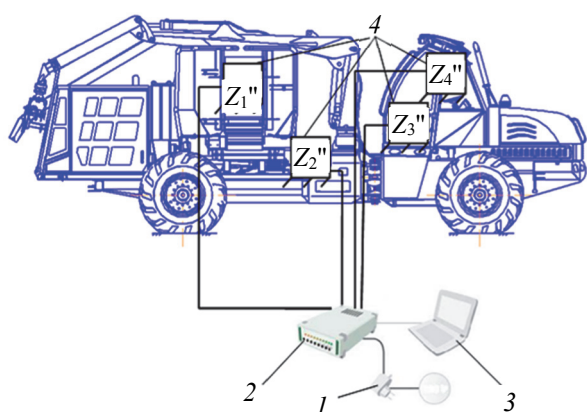


Рис. 4. Схема подключения и места установки датчиков:  
1 – блок питания; 2 – анализатор спектра;  
3 – портативный компьютер; 4 – вибродатчик

Регистрация измеряемых параметров производилась трехкоординатным и однокоординатным акселерометрами (рис. 5). Однокоординатный акселерометр использовался для определения виброускорений рубильной установки, рамы и кабины машины, а трехкоординатный – кресла оператора.

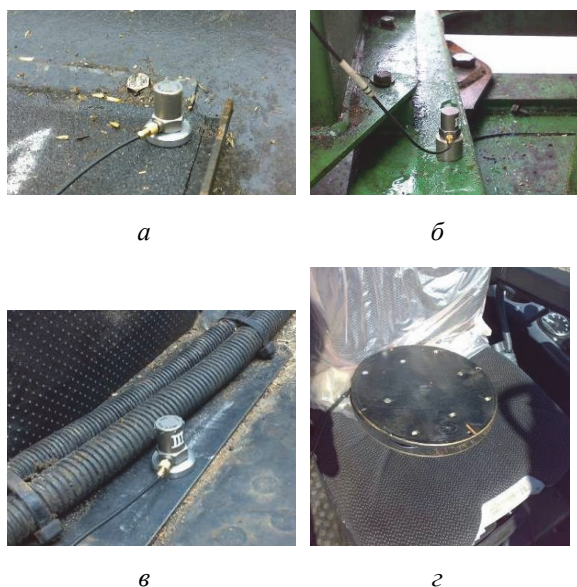


Рис. 5. Места установки акселерометров:  
а, б, в – однокоординатный акселерометр 4383;  
г – место установки трехкоординатного акселерометра AP2082

Однокоординатный акселерометр 4383 (рис. 5 а, б, в) состоит из пьезоэлектрических дисков или пластинок, нагруженных и зафиксированных зажимным приспособлением. Когда акселерометр подвергается воздействию вибрации, масса пластинок действует на чувствительный элемент силой. Вследствие пьезоэлектрического эффекта сила порождает

соответствующий электрический заряд. Заряд, производимый пьезоэлектрическим элементом, пропорционален ускорению механических колебаний поверхности объекта, на котором закреплен акселерометр.

Для преобразования механических колебаний объекта в электрический сигнал, пропорционально вибрационному ускорению механической системы, одновременно в трех составляющих пространственного ускорения, использовался вибродатчик (акселерометр) AP2082, который крепился в специальном деревянном диске и монтировался на кресле оператора (рис. 5, г). Вибропреобразователь подключался к портативному блоку сбора данных PULSE 3560-С, который подсоединялся к портативному переносному компьютеру (ПК). Запись измеряемых параметров производилась на жесткий диск компьютера и сопровождалась графической визуализацией процесса.

Перед началом проведения замеров вибрации на кресле оператора определялась порода измельчаемого древесного сырья, замерялись его геометрические параметры при помощи мерной ленты (рулетки), а также его влажность (рис. 6, а, б, в). Измельчаемым сырьем являлась древесина сосны влажностью 20%.

Влажность измельчаемой стволковой древесины измерялась при помощи влагомера МГ 4 (рис. 6, в). Влагомер МГ 4 предназначен для оперативного контроля влажности древесины по ГОСТ 16588. Принцип действия прибора основан на корреляционной зависимости диэлектрической проницаемости материала от содержания в нем влаги при положительных температурах.

При проведении экспериментальных исследований соблюдались требования техники безопасности, в соответствии с которыми измерительное оборудование располагалось на расстоянии 20 м от места проведения работ [9–12].

Испытания проводились в соответствии с методикой исследовательских и приемочных испытаний экспериментального образца мобильной рубильной машины «АМКОДОР 2904», разработанной сотрудниками кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ и КБ ЛПМ ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга.

Замер общей вибрации на рабочем месте оператора проводился на испытательной площадке ИЦИДМ завода «Дормаш» ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга (рис. 1). Испытания проводились в сухую погоду (температура окружающего воздуха составляла +26°C). Измерения общей вибрации проводились в соответствии с методикой по п. 7.3.2.6; 7.3.2.7; 7.3.2.9; 7.3.2.10 ГОСТ 12.2.102–89.



а



б



в

Рис. 6. Определение параметров (замер) измельчаемой стволовой древесины: а – диаметра; б – длины; в – влажности

Общая вибрация при выполнении технологических операций измерялась на различных режимах: 1 – при включенном только двигателе базовой машины (работающего на холостом ходу); 2 – при включенных двигателе базовой машины и автономном двигателе привода рубильного агрегата (оба двигателя работали в режиме холостого хода); 3 – при работе рубильного агрегата без нагрузки (автономный двигатель на рабочих оборотах (1300–1500 об/мин)); 4 – при измельчении пачки сортиментов объемом 0,32 м<sup>3</sup>; 5 – при измельчении пачки сортиментов объемом 0,21 м<sup>3</sup>; 6 – при измельчении одного сортимента диаметром 0,2 м и длиной 2 м. В транспортном режиме общая вибрация измерялась на всех четырех передачах движения.

Перед каждым замером проводилась проверка работоспособности оборудования. Включение и выключение измерительной аппаратуры

производились перед каждым дублированием замера. После замера имелась возможность просмотра полученного результата [13–15].

**Заключение.** В результате проведенных замеров уровней локальной вибрации были получены спектры вертикальных виброускорений рамы, рубильной установки, кабины и кресла оператора на различных режимах работы рубильной машины (рис. 7, 8).

Наибольший уровень локальной вибрации наблюдается на рубильной установке, ее значение выше на 88% относительно уровня локальной вибрации рамы рубильной машины. Такой уровень вибраций объясняется тем, что рубильная установка является основным источником вынужденных колебаний.

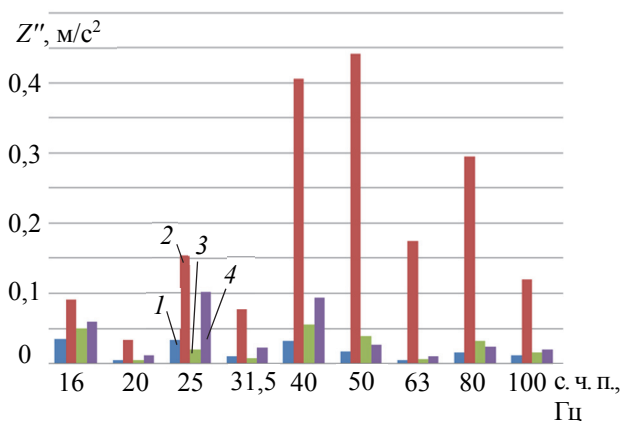


Рис. 7. Спектры вертикальных виброускорений при работе рубильной установки без нагрузки: 1 – спектр вертикальных виброускорений рамы; 2 – спектр вертикальных виброускорений рубильной установки; 3 – спектр вертикальных виброускорений кабины; 4 – спектр вертикальных виброускорений кресла оператора

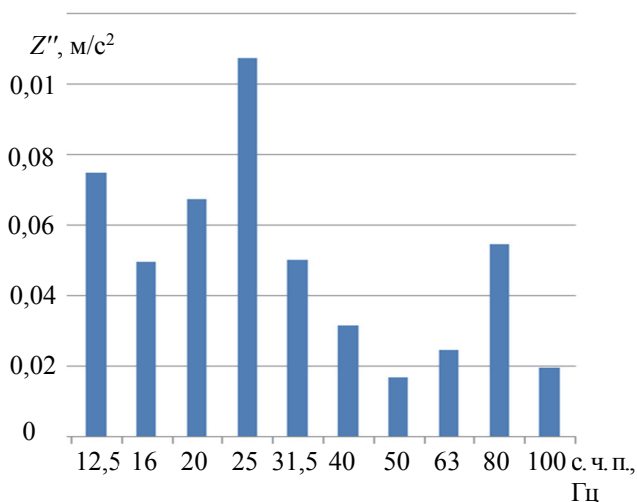


Рис. 8. Спектр вертикальных виброускорений кресла оператора при измельчении пачки сортиментов объемом 0,21 м<sup>3</sup>

Спектры вертикальных виброускорений рабочего места оператора, полученные при выполнении технологических операций на различных режимах, распределены практически равномерно, без ярко выраженных пиковых значений. В результате анализа экспериментальных данных была установлена тенденция увеличения значений виброускорений в среднем на 9% по всем частотным спектрам при увеличении объема измельчаемой пачки сортиментов на 0,11 м<sup>3</sup>, т. е. максимальные

уровни виброускорений (0,110–0,125 м/с<sup>2</sup>) были зафиксированы при измельчении наибольшей пачки сортиментов (0,32 м<sup>3</sup>).

Проведенные экспериментальные исследования позволили изучить влияние на возмущение колебаний машины различных параметров измельчаемого древесного сырья, а также установить, что характеристики машины соответствуют требованиям ТЗ, ТУ и п. 2.1.9 ГОСТ 12.2.102–89 (п. 2.7 ГОСТ 12.1.012–90), СанПиН от 26.12.2013 № 132.

### 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. Рубительные машины. 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. Германович А. О. Экспериментальное исследование вынужденных колебаний рубильной машины при выполнении технологических операций // *Вестник ХНАДУ*. 2013. Вып. 63. С. 31–35.
8. Мохов С. П., Симанович В. А., Германович А. О. Негативное влияние вибраций на рубильную машину // *Материалы 61-й науч.-техн. конф. студентов и магистрантов, Минск, 19–24 апр. 2010 г.: в 4 ч.* / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2010. Ч. 1. С. 193–195.
9. Бычек А. Н. Обоснование параметров бесчokerной 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. 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 двигателя 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 деревообаб. 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 shepuy*. 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, Vysheyschaya shkola 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, Mashinostroeniye 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. Ariko S. Ye. *Obosnovaniye parametrov valochno-suchkorezno-raskryazhevochnoy 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. Germanovich A. O. Experimental study of forced vibrations of the chipper when performing technological operations. *Vestnik HNADU* [Bulletin of HNADU], 2013, no. 63, pp. 31–35 (In Russian).
8. Mokhov S. P., Simanovich V. A., Germanovich A. O. Negative effect of vibrations on the chipper. *Materialy 61-y nauch.-tekhn. konf. studentov i magistrantov* [Materials 61 scientific and technological conference of students and undergraduates]. Minsk, 2010, part 2, pp. 193–195 (In Russian).
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 promyshlennost' Publ., 1967. 532 p.
12. Pishchov S. N. *Primeneniye dvizhitelya kombinirovannogo tipa dlya povysheniya tyagovo-stsepykh 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, доцент 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 Aliaksandr Olegovich** – 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: germanovich@belstu.by

Поступила 01.10.2019

УДК 630\*363.7

**В. Н. Лой, А. О. Германович**

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛЫ  
БАЗОВОГО ШАССИ МОБИЛЬНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

В последнее время переработка древесных отходов в топливную щепу при помощи мобильных рубильных машин приобретает важное значение для энергоне­зависимости республики. Существует большое количество технических характеристик отдельных агрегатов рубильных машин, среди которых зачастую сложно на стадии проектирования выбрать параметры составных агрегатов, а также определиться в компоновочном решении новой проектируемой мобильной рубильной машины. В результате были собраны и проанализированы статистические данные основных параметров самоходной рубильной машины, что в дальнейшем позволило провести регрессионный анализ, который заключался в установлении уравнений регрессий основных параметров технологического оборудования и базового шасси, оценке тесноты связей между ними, достоверности и адекватности результатов измерений. Построены регрессионные зависимости, отражающие взаимовлияние основных параметров на полную массу самоходной рубильной машины, исходя из которых разработана методика обоснования комплектации технологического оборудования и колесной формулы базового шасси, удовлетворяющая нормам СТБ 1342-2002. Данная методика учитывает место работы самоходной рубильной машины, а также ее производительность, она включает входные и выходные параметры. Входными параметрами являются производительность и мобильность, а выходными – площадь сечения загрузочного окна рубильного агрегата, грузовой момент гидроманипулятора, мощность двигателя, объем бункера для щепы, колесная формула, площадь пятна контакта колеса.

**Ключевые слова:** биоэнергетика, измельчение, колесная формула, рубильная машина, щепы, шасси.

**V. N. Loy, A. O. Hermanovich**

Belarusian State Technological University

**METHODOLOGY FOR JUSTIFICATION OF THE WHEEL FORMULA  
OF THE BASE CHASSIS OF A MOBILE CHIPPER**

Recently, the processing of wood waste into fuel chips with the help of mobile chipping machines has become important for the independence of the republic. There is a wide variety of technical characteristics of individual units of chipping machines, among which it is often difficult at the design stage to choose the parameters of composite units and also to determine the layout solution of a new designed mobile chipping machine. As a result, statistical data of the main parameters of a self-propelled chipper were collected and analyzed, which later allowed for a regression analysis, which consisted in establishing the regression equations for the main parameters of the process equipment and the base chassis, estimating the tightness between them reliability and adequacy of measurement results. Regressive dependences were built, reflecting the mutual influence of the main parameters on the total mass of the self-propelled rudder, on the basis of which a methodology was developed to justify the assembly of technological equipment and the wheel formula of the base chassis, which meets the requirements of STB 1342–2002. This technique takes into account the place of work of the self-propelled chipper, as well as its performance, it includes input and output parameters. The input parameters are productivity and mobility, and the output is the cross-sectional area of the loading window of the chipper unit, the load moment of the hydraulic manipulator, engine power, the volume of the chip bin, the wheel formula, the area of the contact patch of the wheel.

**Key words:** bioenergetics, shredding, wheel formula, chipper, chips, chassis.

**Введение.** На сегодняшний день на лесозаготовительных предприятиях республики применяется широкий спектр мобильных рубильных машин, предназначенных для производства топливной щепы, выпускаемых как на отечественных, так и на зарубежных заводах. В процессе создания новой самоходной рубильной машины инженеры-конструкторы

сталкиваются с проблемой выбора и обоснования параметров технологического оборудования и самоходного шасси, так как существуют разнообразные компоновочные решения и технические характеристики данной техники [1].

**Основная часть.** По мобильности рубильные машины подразделяются на передвижные,

самоходные и стационарные. У самоходных машин рубильная установка размещается непосредственно на раме базовой машины: форвардера, автомобиля либо на специальном шасси (гусеничное шасси, шасси для валочно-рубильной машины). Для работы в лесу, где требуется высокая проходимость, целесообразны рубильные машины, смонтированные на тракторе или форвардере. При работе на верхних и промежуточных складах в условиях лесных дорог и при небольших расстояниях перебазировок выгодно применять прицепные рубильные машины, транспортируемые колесными тракторами. Рубильная установка прицепных машин устанавливается на прицепы и полуприцепы с различным количеством осей (в зависимости от полной массы технологического оборудования), которые могут быть приводными. Рубильные машины на базе автомобиля целесообразно применять при наличии дорог и обслуживании децентрализованных промежуточных складов и терминалов, где требуются частые перебазировки на значительные расстояния. Самоходная рубильная машина на базе форвардера обладает таким основным преимуществом, как высокая проходимость, в отличие от других мобильных рубильных машин. При этом она может работать не только на складе, но и непосредственно на самой лесосеке, в тяжелых условиях передвижения [2].

Самоходная рубильная машина состоит из двух основных модулей – тягового и технологического (рис. 1). Тяговый является энергетическим модулем для базовой машины (форвардера), потому что содержит такой основной элемент, как двигатель, который служит источником энергии привода колесных движителей. Технологический состоит из технологического оборудования и задней полурамы базовой машины (форвардера) с элементами трансмиссии и ходовой частью [3–5].

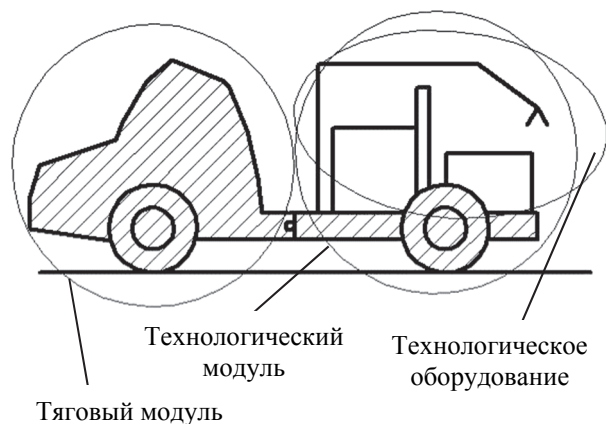


Рис. 1. Компоновочная схема самоходной рубильной машины

Самоходное шасси имеет следующие колесные формулы: 4К2, 4К4, 6К6, 8К8 (рис. 2). Увеличение количества и типоразмера колес ведет к увеличению проходимости, грузоподъемности, а также снижению неблагоприятного воздействия колесных движителей на лесные почвогрунты. Технологическое оборудование состоит из рубильной установки, двигателя, гидроманипулятора, бункера для щепы.

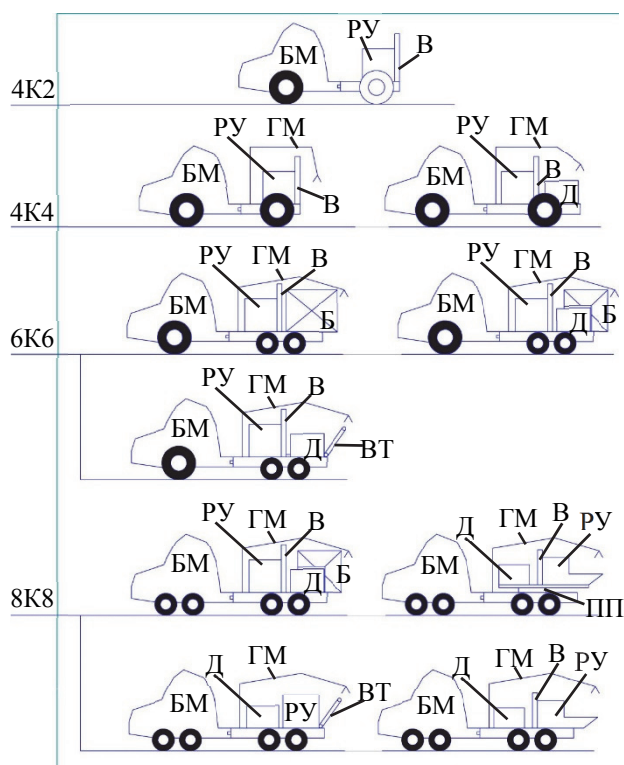


Рис. 2. Компоновочные схемы самоходных рубильных машин:

- БМ – базовая машина; РУ – рубильная установка;
- В – вентилятор для удаления щепы;
- ГМ – гидроманипулятор; Д – двигатель;
- Б – бункер-накопитель; полноповоротная платформа;
- ВТ – выносной транспортер;
- ПП – полноповоротная платформа

Рубильная установка может иметь продольное или поперечное расположение относительно продольной оси базовой машины. Так, продольная компоновка рубильной установки повышает эффективность работы машин с длиномерным древесным сырьем благодаря наличию более длинного подающего транспортера [6–9].

С целью увеличения маневренности в технологическом процессе заготовки щепы, а также сокращения времени движения вдоль штабеля древесного сырья рубильные установки устанавливаются на полноповоротные платформы. Такая компоновка позволяет вращать рубильную установку вокруг своей оси и устанавливать под необходимым углом к древесному сырью.

Полноповоротная рубильная установка может размещаться как на съемной, так и несъемной платформе. Съемная платформа благодаря системе мультилифт повышает многофункциональность базовой машины, которая в этом случае может иметь несколько назначений: щеповоз, рубильная машина, форвардер, пожарная машина и т. д. Также рубильные машины можно классифицировать в зависимости от наличия бункера-накопителя (контейнера). Наличие контейнера и достаточно высокая проходимость базовой машины позволяют использовать рубильную машину для автономной работы (без щеповоза) непосредственно на лесосеке или в лесу при рубках ухода за лесом в условиях малой концентрации сырья. Одним из оптимальных компоновочных решений такой рубильной машины является размещение бункера-накопителя над автономным двигателем, при этом его конструкция имеет специальную форму с дополнительными отверстиями для охлаждения силовой установки. Таким образом, комплектация и компоновка технологического оборудования может быть разнообразной в зависимости от места использования рубильной машины, а также от ее производительности. К примеру, основные отличия в комплектации технологического оборудования рубильной машины могут быть следующими: рубильный агрегат может иметь вентилятор или транспортер для удаления щепы, или то и другое; привод рубильного агрегата может осуществляться от автономного двигателя или от двигателя тягового модуля, или от того и другого; компоновка рубильного агрегата может быть продольной или поперечной (относительно продольной оси базовой машины); рубильный агрегат

(установка) может располагаться на полноповоротной или неповоротной платформе. Шасси самоходных рубильных машин могут иметь различную колесную формулу (рис. 2). Ввиду тяжелых дорожных условий передвижения рубильной машины по лесным дорогам более приоритетными являются полноприводные шасси [10]. Увеличение количества и типоразмера колес ведет к равномерному распределению полной массы рубильной машины ( $G_{общ}$ ), состоящей из массы технологического оборудования ( $G_{то}$ ) и массы самой базовой машины ( $G_{бм}$ ), на ее оси, что приводит к увеличению проходимости и снижению неблагоприятного воздействия колесных движителей на дорожное покрытие и лесные почвогрунты. По этой причине масса технологического оборудования, перевозимого базовой машиной, прямым образом влияет на ее колесную формулу [11].

В зависимости от того, по какой технологии и, соответственно, с каким сырьем рубильная машина будет работать, закладываются (рассчитываются) основные параметры технологического оборудования, такие как площадь сечения загрузочного окна рубильной установки  $S_0$ , грузоподъемный момент гидроманипулятора  $M_{гм}$ , мощность двигателя  $N_d$  привода рубильной установки, объем бункера для щепы  $V_б$  (рис. 3). От значений таких основных параметров технологического оборудования рубильная машина может быть высокопроизводительной либо малопроизводительной. Высокопроизводительные рубильные машины обладают значительно большей массой технологического оборудования, что приводит к увеличению типоразмера колес и количеству осей колесной формулы.

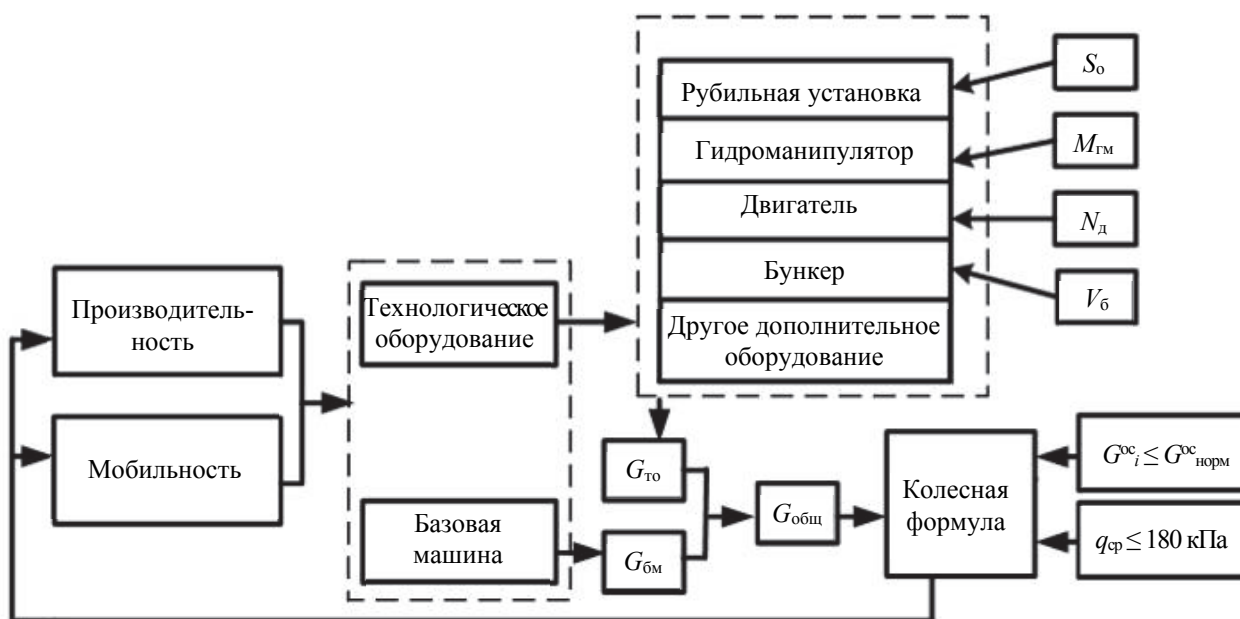


Рис. 3. Структурно-логическая схема обоснования колесной формулы самоходной рубильной машины

В результате были собраны и проанализированы статистические данные параметров мобильных рубильных машин, что в дальнейшем позволило провести регрессионный анализ (при помощи программного пакета Microsoft Office Excel), который заключался в установлении уравнений регрессий, оценке тесноты связей между ними, достоверности и адекватности результатов [12]. В качестве аргументов выступали основные параметры технологического оборудования ( $S_o$ ,  $M_{ГМ}$ ,  $N_d$ ,  $V_б$ ) и базового шасси, а в качестве функций – их массы (масса рубильной установки  $m_{ру}$ , масса гидроманипулятора  $m_{ман}$ , масса двигателя привода рубильной установки  $m_d$ , масса бункера  $m_б$ ), критерием тесноты связи между ними являлся коэффициент корреляции. Для определения наличия связей между аргументами и функциями были построены корреляционные поля, по тесноте группирования точек был определен характер корреляционной зависимости и построены линии тренда с минимальной средней квадратичной ошибкой величины предсказания для функций и аргументов. Все коэффициенты корреляции полученных зависимостей свидетельствовали о наличии достаточно тесной связи между показателями параметров технологического оборудования, шасси и их массами.

На основании проведенного регрессионного анализа и статистической обработки основных параметров технологического оборудования и базового шасси получены регрессионные зависимости (рис. 4), удовлетворяющие коэффициенту корреляции: массы рубильного агрегата от площади сечения загрузочного окна  $m_{ру}(S_o)$ ; массы двигателя от его мощности  $m_d(N_d)$ ; массы манипулятора от его грузового момента  $m_{ман}(M_{ГМ})$ , кг:

$$m_{ру}(S_o) = 13\,105 \cdot S_o^{0,6552}, \quad (1)$$

$$m_d(N_d) = 18,252 \cdot N_d^{0,6904}, \quad (2)$$

$$m_{ман}(M_{ГМ}) = 248,92 \cdot M_{ГМ}^{0,4317}. \quad (3)$$

Зависимость массы бункера со щепой от его объема  $m_б(V_б)$  была получена расчетным путем и определяется по выражению, кг:

$$m_б(V_б) = 607,49 \cdot V_б^{0,8175}. \quad (4)$$

При помощи полученных регрессионных зависимостей (рис. 4) определяется общая масса технологического оборудования рубильной машины, включающая массы ее основных составляющих, кг:

$$G_{то} = (m_{ру} + m_d + m_{ман} + m_б) \cdot k_m, \quad (5)$$

где  $k_m$  – коэффициент, учитывающий массу (вспомогательных) металлоконструкций технологических рам и корпусов ( $k_m = 1,0–1,3$ ).

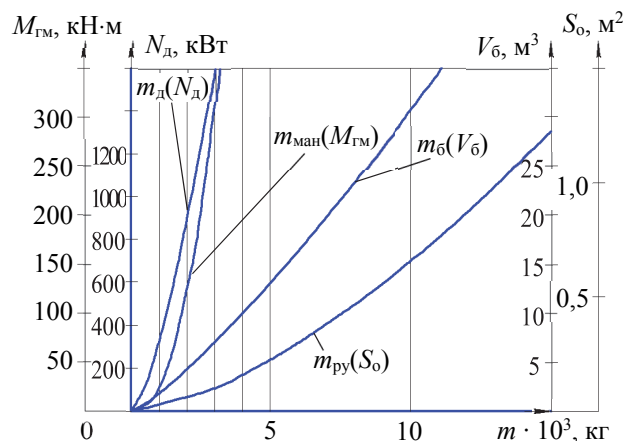


Рис. 4. Зависимость массы технологического оборудования от его основных параметров

Также по статистическим данным были получены удовлетворяющие коэффициенту корреляции регрессионные зависимости  $G_{бМ}(G_{то})$  изменений массы базовой машины  $G_{бМ}$  (форвардера, автомобиля) от массы возможного перевозимого полезного груза (грузоподъемности), т. е. от массы технологического оборудования  $G_{то}$  (рис. 5). В зависимости от массы технологического оборудования определяется масса самой базовой машины и, соответственно, общая масса рубильной машины в целом, а также, предварительно, ее колесная формула.

Общая масса (теоретическая, эксплуатационная) рубильной машины, используемая для определения количества осей, а соответственно, и колесной формулы машины находится по следующему выражению, кг:

$$G_{общ} = (G_{то} + G_{бМ}) \cdot k_э, \quad (6)$$

где  $k_э$  – коэффициент эксплуатационной массы, учитывающий массу заправленных топливно-смазочными жидкостями баков, комплекта запасных частей (сменных резцов), инструмента, необходимых принадлежностей (ЗИП) ( $k_э = 1,01–1,05$ ).

Масса базового шасси прицепной рубильной машины (прицепа) находится в диапазоне 2000–4000 кг.

Колесная формула прицепной рубильной машины будет определяться в зависимости от типа базового шасси (прицеп, полуприцеп) и от осевых ограничений [13, 14], так же как у автомобильного шасси.

Для рубильной машины на базе автомобиля одним из немаловажных критериев обоснования колесной формулы шасси является осевая нагрузка, которая регламентируется нормативно-техническими документами [13, 14].

Так, условие по ограничению нагрузки на ось шасси выглядит следующим образом:

$$G_{oc}^i \leq G_{норм}^{oc}, \quad (7)$$



где  $G_i^{oc}$  – нагрузка, приходящаяся на  $i$ -ю ось шасси, Н;  $G_{норм}^{oc}$  – допустимая осевая нагрузка в соответствии с нормативно-правовыми актами, Н.

$$G_i^{oc} = \frac{p_i}{100\%} G_{общ}, \quad (8)$$

где  $p_i$  – часть общей массы (веса) рубильной машины, приходящаяся на  $i$ -ю ось шасси, зависящая от принятого распределения общей массы между осями шасси (развесовки), %.

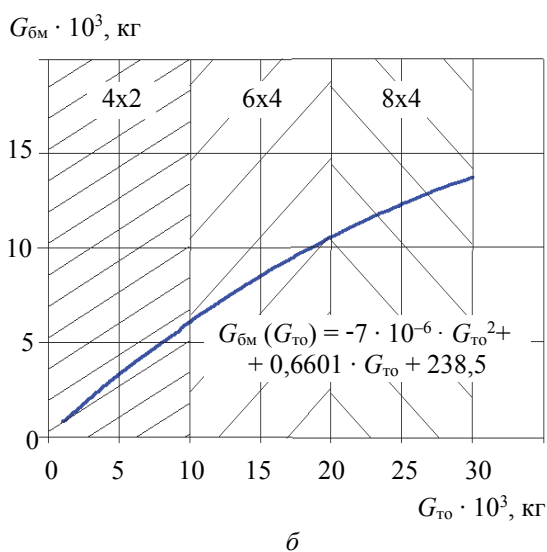
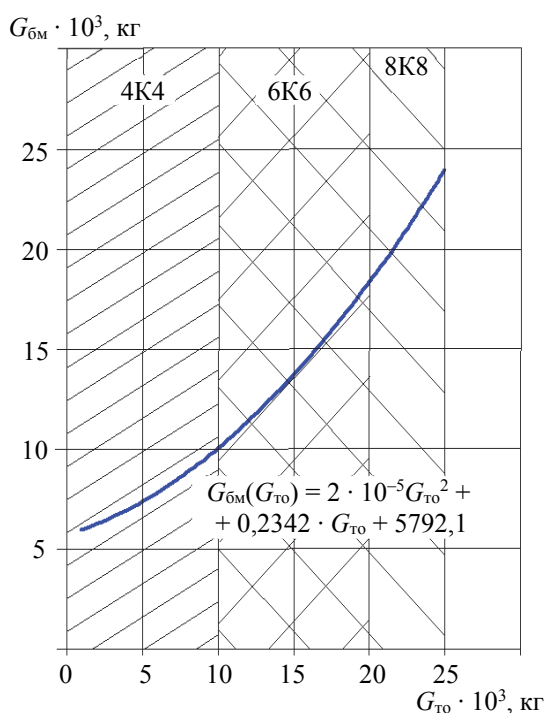


Рис. 5. Зависимость массы базовой машины от массы технологического оборудования:  
 а – базовое шасси в виде форвардера;  
 б – базовое шасси в виде автомобиля

При эскизном проектировании мобильной рубильной машины процентное распределение общего веса между осями шасси принимается исходя из условия

$$G_{общ} = \sum_{i=1}^m p_i = 100\%, \quad (9)$$

где  $m$  – количество осей колесной формулы шасси.

Так, при помощи ограничительного условия нагрузки на ось (7) просчитываются, начиная от двусосных шасси, все возможные колесные формулы. Исходя из условий работы (технологии) и тягового баланса автомобиля принимается количество ведущих осей. Таким образом, определяется колесная формула автомобильного шасси рубильной машины.

Ограничительным критерием для выбора колесной формулы и типоразмера колес рубильной машины на базе форвардера является такой показатель, как удельное давление движителя на грунт, предельные значения которого приведены в СТБ 1342-2002 [15]. Для грунтов с высокой несущей способностью (песчаные, супесчаные нормального увлажнения, каменистые и мерзлые) (первый тип местности) давление на грунт колесным движителем не должно превышать 180 кПа. В качестве показателя для оценки предельных (допустимых) значений удельного давления движителей на грунт используется среднее давление  $q_{ср}$ , которое имеет ограничение

$$q_{ср} \leq 180 \text{ кПа}. \quad (10)$$

После определения общей массы самоходной рубильной машины на базе форвардера, можем применить методику, которая позволяет выбрать колесную формулу, удовлетворяющую нормам СТБ 1342-2002 (т. е. удельное давление на грунт, не превышающее 180 кПа).

**Заключение.** Разработана методика, позволяющая обосновать комплектацию технологического оборудования и колесную формулу базового шасси, удовлетворяющую нормативно-техническим документам исходя из двух главных параметров: производительности и мобильности (местам измельчения древесного сырья в щепу). Для высокопроизводительных мобильных рубильных машин на шасси форвардера с общей массой более 20 т, работающих в тяжелых условиях передвижения по лесным дорогам, предпочтительной колесной формулой является 8К8, так как она позволяет более равномерно распределить нагрузку на балансирные оси, а также реализовать большее тяговое усилие. У рубильных машин, полная масса которых находится в пределах от 10 до 20 т, эффективно с точки зрения норм СТБ иметь колесную формулу 6К6.



### 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. Мохов С. П., Германович А. О. Анализ конструктивных особенностей рубильных машин // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 40–44.
3. Германович, А. О. Оценка параметров технологического и тягового модулей рубильной машины на самоходном шасси / А. О. Германович // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 79–82.
4. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
5. Рахманов С. И., Гороховский К. Ф. Машины и оборудование лесоразработок. М.: Лесная пром-сть, 1967. 532 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Германович, А. О. Тяговые испытания самоходной рубильной машины // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. 2013. Вып. 33. С. 129–134.
11. Германович А. О., Лой В. Н. Методика выбора колесной формулы самоходной рубильной машины // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 3–4 дек. 2014 г. / Вологод. гос. ун-т. Вологда, 2014. С. 123–126.
12. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 232 с.
13. Транспорт дорожный. Массы, нагрузки на оси и габариты: СТБ 1878–2008. Введ. 01.12.08. Минск: БелдорНИИ, 2008. 6 с.
14. О проезде тяжеловесных и (или) крупногабаритных транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования: Указ Президента Респ. Беларусь, 26 нояб. 2010 г., № 613. Минск: Белгипролес, 2010.
15. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Машины для рубки леса. Общие технические требования: СТБ 1342–2002. Введ. 01.01.03. Минск: Белгипролес, 2002. 14 с.

### References

1. Germanovich A. O. *Obosnovaniye parametrov mobil'noy rubil'noy mashiny na baze mnogo-funktional'nogo shassi dlya proizvodstva toplivnoy shechepy. 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. Mokhov S. P., Germanovich A. O. Analysis of the design features of chipping machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 40–44 (In Russian).
3. Germanovich A. O. Estimation of parameters of technological and traction modules of the chipper on a self-propelled chassis. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).
4. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
5. Rakhmanov S. I., Gorokhovskiy K. F. *Mashiny i oborudovaniye lesorazrabotok* [Machinery and equipment lumbering]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 532 p.
6. 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.
7. 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).

8. 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).
9. Germanovich A. O., Loy V. N., Ariko S. Ye., 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 resursoberegayushchiye 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).
10. Germanovich A. O. Traction tests self-propelled chipper. *Avtomobil'nyy transport* [Automobile transport], 2013, no. 33, pp. 129–134 (In Russian).
11. Germanovich A. O., Loy V. N. Methods for choosing a wheel formula for a self-propelled chipper. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Aktual'nyye problemy razvitiya lesnogo kompleksa"* [Materials scientific and technical conference "Actual problems of forestry development"]. Vologda, 2014, pp. 123–126 (In Russian).
12. Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Woodworking research]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 232 p.
13. STB 1878-2008. Road transport. Masses, axle loads and dimensions. Minsk, Belgiproles Publ., 2008. 6 p. (In Russian).
14. Decree of the President of Rep. Belarus 26 nov. 2010, no. 613 "About the passage of heavy and (or) large vehicles on public roads". Minsk, Belgiproles Publ., 2010 (In Russian).
15. STB 1342-2002. Sustainable forest management and forest management. Machines for cutting wood. General technical requirements. Minsk, Belgiproles Publ., 2002. 14 p. (In Russian).

#### Информация об авторах

**Лой Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, декан факультета лесной инженерии, материаловедения и дизайна. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [t1p@belstu.by](mailto:t1p@belstu.by)

**Германович Александр Олегович** – 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: [germanovich@belstu.by](mailto:germanovich@belstu.by)

#### Information about the author

**Loy Vladimir Nikolayevich** – PhD Engineering, Associate professor, Dean of the Faculty of Forest Engineering, Materials Science and Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [t1p@belstu.by](mailto:t1p@belstu.by)

**Hermanovich Aliksandr Olegovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [germanovich@belstu.by](mailto:germanovich@belstu.by)

Поступила 01.10.2019

УДК 630\*383.4

**П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

В настоящее время в связи с ухудшением экологической обстановки и увеличением лесных массивов все большее значение приобретает оптимизация использования лесных ресурсов на основе принципа непрерывного неистощительного лесопользования. При этом необходимо решить целый комплекс задач, среди которых одной из важнейших является формирование опорной сети лесотранспортных путей в экономически доступной сырьевой базе лесозаготовительного предприятия, которое обеспечит рациональное лесопользование.

Ситуация в лесной отрасли такова, что в ближайшее десятилетие надо практически заново создать лесную дорожную сеть. Поэтому для решения дорожной проблемы в лесной отрасли требуются государственные инвестиции, возврат которых возможен при высокой рентабельности работы лесозаготовителей и переработчиков древесины. Большинству из них предстоит создавать новую мощную производственную базу, развивать социальную инфраструктуру.

Дальнейший прирост лесной дорожной сети по мере ее формирования, при удалении лесосеки, может быть реализован и без государственных инвестиций. Возврат частных капиталовложений может быть осуществлен в короткий срок.

В статье представлены современные принципы прогнозирования развития существующей сети лесотранспортных путей. Предложена модель оптимизации использования лесных ресурсов на основе принципа непрерывного неистощительного лесопользования. В качестве целевой функции для сети лесных дорог с бесконечным сроком функционирования предложены суммарные затраты с приведением к единому моменту времени с учетом фактических сроков службы дорожной одежды, земляного полотна и искусственных сооружений.

**Ключевые слова:** лесотранспортная сеть, развитие, экономическая доступность.

**P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko**

Belarusian State Technological University

**BASIC PRINCIPLES OF FOREST ROAD NETWORK DEVELOPMENT**

At present, due to the deterioration of the environmental situation and the increase in forest areas, it is becoming increasingly important to optimize the use of forest resources based on the principle of continuous sustainable forest management. At the same time, it is necessary to solve a whole set of tasks, among which one of the most important is the formation of a supporting network of forest transport routes in an economically accessible raw material base of a logging enterprise that will ensure rational forest management.

The situation in the forest industry is such that in the next decade it is necessary to practically recreate the forest road network. Therefore, to solve the road problem in the forest industry, public investments are required, which can be returned if the work of loggers and wood processors is highly profitable. Most of them will have to create a powerful new production base and develop social infrastructure.

Further growth of the forest road network as it is formed, with the removal of the forest section, can be realized without public investment. The return of private capital investments can be made in a short time.

The article presents modern principles of forecasting the development of the existing network of forest transport routes. A model for optimizing the use of forest resources based on the principle of continuous sustainable forest management is proposed. As a target function for a network of forest roads with an infinite period of operation, the total costs are proposed with the reduction to a single point in time, taking into account the actual service life of road clothing, roadbed and artificial structures.

**Key words:** forest transport network, development, economic accessibility.

**Введение.** Транспортная инфраструктура – важнейшая составляющая хозяйственного освоения территорий, богатых ресурсами. Чем выше плотность лесных автомобильных дорог и дорог общего пользования, чем лучше развита лесотранспортная сеть, тем короче расстояние вывозки по лесным дорогам, тем эффективнее используются ресурсы, тем выше их доходность. Без развитой дорожной сети нельзя эффективно пользоваться дарами леса и обеспечить надлежащий за ним уход.

Для обеспечения успешной работы лесного комплекса в целом, для освоения лесных массивов необходимо иметь разветвленную транспортную сеть лесных дорог, густота которых для условий Республики Беларусь должна составлять 0,432 км на 100 га (в настоящее время она составляет 0,222 км на 100 га) [1, 2].

**Основная часть.** Развитие дорожной сети лесного фонда опирается на систему принципов,

в основе которых лежит комплексный системный подход, предусматривающий, что:

– дорожную сеть следует рассматривать как важнейший элемент инфраструктуры района, обеспечивающий деятельность всех отраслей материального производства и непродуцированной сферы;

– дорожная сеть должна отражать прямые и обратные связи в системе «автомобильно-дорожный комплекс – развитие производительных сил»;

– расчет эффективности инвестиций необходимо производить с учетом всех затрат и эффектов, получаемых на транспорте и вне его (в других отраслях материального производства и в социальной сфере), а также с учетом влияния фактора времени и неопределенности исходной информации.

К прогнозу развития сети лесных автомобильных дорог следует подходить с позиций комплексного социально-экономического развития области на основе оптимальных территориальных пропорций. Областному ПЛХО должна соответствовать инфраструктура, включающая сеть автомобильных дорог общего пользования и лесных дорог [1–4].

Дороги общего пользования и лесные дороги призваны обеспечивать транспортные связи и производства, и населения. Объем и направление производственных транспортных связей зависят от уровня развития и размещения производства, степени его концентрации, специализации и кооперирования. Транспортные связи населения определяются уровнем жизни людей и перспективами его роста, подвижностью населения, характером развития сферы обслуживания, особенностями развития общественного и индивидуального транспорта, требованиями улучшения окружающей среды, созданием рекреационных условий и др.

Поэтому при планировании областных комплексов дорожная сеть рассматривается в двух взаимосвязанных аспектах: как фактор районобразующего значения, оказывающий влияние на масштабы, структуру и территориальную организацию лесного хозяйства, и как составная часть системы инженерного оборудования района.

В первом случае оценивается влияние дорожной сети на расселение, размещение промышленности, сферы обслуживания населения; во втором случае определяются мощности, пропускные способности автомобильных дорог, необходимые для осуществления всех производственных, пассажирских, административных, социально-культурных связей, т.е. оценивается влияние окружающей среды на автомобильные дороги.

Усложнение процессов размещения производства, населения, а также всех систем коммуникаций, усиление требований к бережному

использованию окружающей среды, возрастные роли социальных факторов в развитии общества – все это указывает на необходимость системного анализа географических, экономических и планировочных особенностей территории при проектировании сетей автомобильных дорог. Кроме того, должны учитываться прямые и обратные связи системы взаимодействия элементов территориально-производственного комплекса. Например, если первоначально дорожная сеть проектируется с учетом экономических транспортных связей, существующих или проектируемых на определенный период времени, то затем сам факт создания новых транспортных путей вызывает к жизни новые, ранее не предусмотренные транспортные связи, которые требуют усиления пропускной способности дорог. Таким образом, сеть автомобильных дорог общего пользования и лесных дорог как планировочная система характеризуется [1–4]:

– *многообразием и разнотипностью прямых и обратных связей*, существующих как между отдельными компонентами системы, так и между системой в целом и внешней средой, природно-климатической и социально-экономической. Развитие дорог регулируется производством, характером расселения, занятостью, условиями жизни людей. Прямые и обратные экономические связи, от которых зависят мощности, пропускные способности, конструктивные особенности дорог, определяют уникальность сооружения, его локальную закреплённость;

– *разновременностью сооружения различных элементов системы* (дорожных объектов), большим временным периодом функционирования системы в целом и различием во времени реконструкции тех или иных участков сети, переводом их в другие технические категории, обусловленные созданием новых производств, разработкой природных ресурсов и др.;

– *динамичностью системы*. Дорожная сеть постоянно развивается, хотя темпы и характер ее изменения неодинаковы в различные периоды времени, так как на них влияет множество факторов, связанных с переоценкой природного и экономического потенциала района, с вероятностным характером роста и изменениями структуры населения, его занятости, а также с масштабами и темпами изменения внутрирайонных и межрайонных связей, особенно в условиях рынка;

– *невозможностью предварительного экспериментирования системы*. Запроектированная сеть дорог не может быть вся целиком апробирована, проанализирована заранее в реальной действительности в связи с ее локальной закреплённостью и сложностью. Между периодом ее планирования и периодом ввода в эксплуатацию

существует значительный разрыв во времени, который должен обязательно учитываться при расчетах экономической эффективности инвестиций.

Все указанные свойства дорожной сети как планировочной системы можно сгруппировать следующим образом.

1. Свойства, характеризующие систему в целом: сложность, иерархичность элементов; географическая конкретность; локальная закреплённость, ограниченность; многообразие, разнотипность внешних связей.

2. Свойства, характеризующие развитие системы: инерционность динамизм; неравномерность развития.

3. Свойства процесса прогнозирования системы: невозможность эксперимента; большой «шаг запаздывания», разделяющий этапы прогноза и реализации решений.

Указанные свойства определяют и основные принципы планирования:

– прогноз (план) создания сети дорог района должен базироваться на эффективном развитии его производительных сил – размещении промышленности с учетом наиболее рационального использования всех природных, трудовых и материальных ресурсов, рациональной организации сельскохозяйственного производства;

– при разработке прогноза развития сети дорог следует учитывать взаимное влияние социально-экономических факторов развития и функционирования системы, таких как расселение (численность и размещение населения с точки зрения размещения мест труда и отдыха, санитарно-технических и градостроительных условий), влияние развития и размещения сферы обслуживания населения (здравоохранения, образования, бытового обслуживания, торговли, связи и пассажирского транспорта и т. д.);

– при определении объекта планирования дорожной сети следует исходить из общих понятий экономического районирования, т. е. район размещения автомобильных дорог должен, во-первых, представлять собой часть экономического района и, во-вторых, планируемая сеть должна являться фрагментом определенного ранга в единой транспортной системе;

– процесс планирования и проектирования дорожной сети должен представлять собой непрерывный во времени анализ и синтез всех особенностей и взаимосвязанных изменений в объемах и размещении природных, материально-технических и демографических ресурсов района. Частные исследования и проектировки, относящиеся к разным временным периодам, должны постоянно корректироваться, тем самым приближаясь к оптимуму;

– сеть автомобильных дорог должна планироваться на длительный срок, т. е. должен соблюдаться принцип дальности перспективы,

поскольку последствия принимаемых решений сказываются в течение длительного срока;

– при планировании развития сети автомобильных дорог следует учитывать целесообразность стадийности в реализации конструктивных решений, т. е. необходимо учитывать преимущества, связанные с потенциальными возможностями системы;

– принцип вариантности, т. е. выбор решения должен основываться на технико-экономическом сравнении возможных вариантов размещения, мощностей, потенциальных возможностей сети, резервов пропускной способности;

– технико-экономическая оценка возможных вариантов дорожной сети в составе районных планировочных систем производится на основе сравнения общей эффективности осуществления процесса транспортирования с учетом внетранспортного эффекта в соответствии с общим критерием экономической эффективности в народном хозяйстве.

Таким образом, в процессе формирования оптимизируемая дорожная сеть рассматривается как элемент сложной системы территориальной организации производительных сил, т. е. как элемент инфраструктуры региона.

*Размещение опорной сети лесных дорог.* Вопрос о размещении сети лесных дорог рассматривается в связи с тем, что в районах с уменьшающимся объемом лесозаготовок по рубкам главного пользования интенсифицируется лесное производство для сохранения и приумножения запасов древесины и других полезных лесов. Для обеспечения интенсивного развития лесного хозяйства необходимо создать развитую сеть лесных автомобильных дорог [2].

В районах с интенсивной деятельностью организаций лесного хозяйства, как правило, имеется сеть дорог общего назначения и оставшиеся после рубок главного пользования лесовозные дороги, которые могут лишь частично эксплуатироваться для нужд лесного хозяйства вследствие несовпадения грузовых направлений лесозаготовительных и лесных грузов, значительных разрушений искусственных сооружений и земляного полотна. Поэтому при проектировании сети лесных дорог необходимо учитывать существующие дороги.

В отличие от лесозаготовительного производства участки лесных массивов могут являться источниками и потребителями различных по виду и количеству грузов, которые могут свозиться в различные пункты по переработке или вывозиться из них. Последняя тенденция характеризуется развивающейся концентрацией и специализацией различных видов лесоперерабатывающих производств.

Вследствие отмеченных особенностей лесохозяйственной деятельности и существующих

требований к сети лесных дорог задача приближается по условиям к задаче проектирования сети автомобильных дорог общего назначения. Отличия заключаются лишь в том, что сеть лесных дорог – сеть дорог низких категорий, поэтому не может оказывать существенного влияния на размещение магистральных дорог общего пользования, и задачу можно сводить к проектированию дорог в лесном массиве, окантованном дорогами общего пользования и естественными границами (граница массива, берег озера, административная граница).

Различие в грузах по виду, затратам на их транспортировку, пунктам отправления и назначения характеризует задачу проектирования сети лесных дорог как многопродуктовую. В качестве целевой функции для сети лесных дорог с бесконечным сроком функционирования берутся суммарные затраты с приведением к единому моменту времени с учетом фактических сроков службы дорожной одежды [5–8], земляного полотна [9–12] и искусственных сооружений.

Для формулировки задачи введем обозначения:  $i, j$  – номера точек на сети;  $k$  – номер типа дороги;  $l$  – номер вида перевозимого груза;  $Q_{ij}$  – ресурсы  $l$ -го груза в  $i$ -й точке;  $P_{jl}$  – потребности  $j$ -й точки в  $l$ -м грузе;  $x_{ijkl}$  – объем перевозки  $l$ -го груза по дороге  $k$ -го типа между точками  $i$  и  $j$ ;  $c_{ijkl}$  – затраты на строительство дороги и на перевозку  $l$ -го груза по  $k$ -й дороге из  $i$ -й точки в  $j$ -ю.

Задача заключается в нахождении таких  $x_{ijkl}$ , чтобы сумме затрат сообщалось наименьшее значение, т. е.

$$\sum_{ijkl} c_{ijkl} \cdot x_{ijkl} \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{jk} x_{ijkl} = Q_{il}; \quad (2)$$

$$\sum_{ik} x_{ijkl} = P_{jl}; \quad (3)$$

$$x_{ijkl} \geq 0. \quad (4)$$

Принимается

$$c_{ijkl} = \frac{k_1}{\sum_l |x_{ijkl}|} + t_1, \text{ если } 0 < \sum_l |x_{ijkl}| < M_1;$$

$$c_{ijkl} = \frac{k_2}{\sum_l |x_{ijkl}|} + t_2, \text{ если } M_1 \leq \sum_l |x_{ijkl}| < M_2; \quad (5)$$

$$c_{ijkl} = \frac{k_3}{\sum_l |x_{ijkl}|} + t_3, \text{ если } M_2 \leq \sum_l |x_{ijkl}| < M_3,$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – стоимость строительства 1 км дорог различных категорий;  $t_1, t_2, t_3$  – приведенные транспортные затраты на дорогах различных категорий.

Для учета существующих участков сети и дорог общего пользования стоимость строительства принимается равной 0. Дороги местного значения могут быть улучшены, если на каком-то участке концентрируется объем перевозок больший, чем экономически целесообразный для данного типа дороги.

Решение сформулированной задачи с нелинейным значением целевой функции можно осуществлять распределительным методом линейного программирования, принимая значения  $x_{ijkl}$  на отдельных этапах решения фиксированными.

После первого этапа решения по сумме всех видов грузов  $\sum x_{ijkl}$  необходимо рассчитать новое значение  $c_{ijkl}$  и повторить решение. Повторения решения с пересчитанными  $c_{ijkl}$  следует делать до тех пор, пока не получатся два совпадающих результата. Количество этапов решения зависит от транспортной освоенности района существующими дорогами. Для решения задачи может быть использована стандартная программа распределительного метода линейного программирования [13–15].

В качестве ограничений в задаче используются три основных вида перевозимых грузов – древесина, прочие полезности леса (грибы, ягоды, поездки с целью отдыха) и грузы обмена между населенными пунктами. Объем перевозимой древесины определяется по планам рубок главного и промежуточного пользования. Объем предполагаемых заготовок – по технико-экономическим показателям для проектирования сети лесных дорог. Запасы древесины определяются поквартально.

Объемы грузов обмена между населенными пунктами могут быть определены с помощью коэффициентов взаимодействия. Для расчета взаимодействия двух населенных пунктов

$$F = \frac{k \cdot N_1 \cdot N_2}{d^2}, \quad (6)$$

где  $N_1, N_2$  – численность населения пунктов;  $d$  – расстояние между ними, км;  $k$  – масштабный коэффициент.

Для учета временного фактора в модель вводится время по формуле

$$t = t_{kl} \sum_1^t \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (7)$$

где  $t$  – планируемый период, лет;  $t_{kl}$  – затраты на перемещение одного вида груза на 1 км по дороге  $k$ -го вида;  $E$  – нормативный коэффициент эффективности инвестиций.



**Заключение.** Строительство лесных дорог во многом определяет уровень развития лесной промышленности Республики Беларусь. Основное назначение лесных дорог – обслуживать потребности лесного хозяйства, обеспечивать доступ органов управления лесным хозяйством и лесозаготовителей к конкретным участкам лесного фонда.

В настоящее время строительство дорог на территории лесного фонда осуществляется почти исключительно арендаторами участков лесного фонда за счет собственных средств предприятий, уровень этого строительства явно недостаточен для нормальной работы лесного комплекса [1, 4].

Проектирование, строительство и финансирование лесных дорог является сложной проблемой,

поэтому решать ее необходимо совместными усилиями государства и представителей бизнеса.

Не следует препятствовать появлению в ближайшем будущем частных лесных дорог лесопромышленных компаний. В заключение следует отметить, что в условиях рынка, при которых главным двигателем производства является прибыль или рентабельность, расчетные нагрузки на дороги, мосты и сами дорожные мостовые конструкции должны назначаться исходя из обеспечения рентабельности лесозаготовки и переработки древесины. Только после определения стоимости строительства дороги, сети дорог, придорожной инфраструктуры можно осознанно производить инвестиционную политику и браться за реализацию развития и совершенствования сети лесных дорог.

### Литература

1. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Формирование опорной сети лесотранспортных путей в условиях Республики Беларусь // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. Вып. 183. С. 81–89.
2. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Обоснование размещения лесотранспортных сетей // Известия вузов. Лесной журнал. 2009. Вып. 4. С. 82–88.
3. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group // Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications. Bulgaria: Info Invest, 2007. Vol. 1. P. 49–59.
4. Лесохозяйственные дороги. Нормы и правила устройства: ТКП 500-2016 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2016. 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. техн. 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. техн. 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. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study / E Oburger [et al.] // 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. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization / C. Kanzian [et al.] // Biomass bioengineering. 2013. P. 294–302.

### References

1. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Formation of a supporting network of forest transport routes in the conditions of the Republic of Belarus. *Izvestiya Sankt-Petersburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg forestry Academy], 2008, no. 183, pp. 81–89 (In Russian).

2. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Justification of placement of forest transport networks. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest journal], 2009, no. 4, pp. 82–88 (In Russian).
3. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group. *Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications*. Bulgaria, Info Invest Publ., 2007, vol. 1, pp. 49–59.
4. ТКР 500-2016 (33090). Wood highways. Norms and device rules. Minsk, Ministerstvo lesnogo khoz-va Resp. Belarus Publ., 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]. Voronezh, RF, 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., Sinyak 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., Jage 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

**Лыщик Петр Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lyshchik@belstu.by

**Бавбель Евгения Ивановна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

**Науменко Андрей Иванович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

### Information about the authors

**Lyshchik Petr Alekseyevich** – 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: lyshchik @belstu.by

**Bavbel Jane Ivanovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

**Naumenko Andrey Ivanovich** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 15.10.2019

УДК 630\*36.001.6

**С. А. Голякевич, А. Р. Гороновский**

Белорусский государственный технологический университет

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ  
НА ОПЕРАЦИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

В статье приведены результаты исследований эффективности эксплуатации рубильной машины на операции измельчения древесины. Описаны потенциальные условия эксплуатации машин на нижних складах, лесосеках и при изменяющихся условиях. Рассмотрены приводы с различной номинальной мощностью под управлением системы «No stress». В качестве критерия оценки эффективности предложено использовать функции энергетического потенциала операций для постоянных и переменных условий эксплуатации. Определены области эффективного использования приводов различной мощности и даны рекомендации по их применению на практике. Установлены закономерности изменения эффективности процессов измельчения для приводов мощностью 138 кВт, 238 кВт, 338 кВт. Показано, что при срабатывании системы управления «No stress» эффективность процесса измельчения значительно снижается и работа рубильной машины на таких режимах допустима лишь в исключительных случаях. Кроме того, характер кривых падения эффективности (функции ЭП) на участках срабатывания системы управления не зависит от номинальной мощности двигателя. Установлено, что при работе с тонкомерной древесиной большая эффективность достигается при использовании привода меньшей номинальной мощности, но не менее необходимой для работы барабана без срабатывания системы «No stress».

**Ключевые слова:** рубильная машина, модель, режим, система управления «No stress», привод, управление, алгоритм, Matlab, Simulink.

**S. A. Golyakevich, A. R. Goronovskiy**

Belarusian State Technological University

**ENERGY ANALYSIS OF OPERATIONS MODES OF CHIPPERS  
ON OPERATION MILLING OF WOOD MATERIALS**

The article presents the results of studies of the efficiency of operation of the chopping machine in the operation of wood chopping. Potential operating conditions of machines in lower warehouses, cutting areas and under changing conditions are described. Drives with different rated power under control of the «No stress» system are considered. It is proposed to use the functions of the energy potential of operations for constant and variable operating conditions as a criterion for evaluating efficiency. The areas of efficient use of drives of various powers are determined and recommendations for their practical application are given. The laws of changing the efficiency of grinding processes for drives with a capacity of 138 kW, 238 kW, 338 kW are established. It is shown that when the «No stress» control system is activated, the efficiency of the grinding process is significantly reduced and the operation of the chipper in such modes is permissible only in exceptional cases. In addition, the nature of the curves of the drop in efficiency (EP function) in the response areas of the control system does not depend on the rated engine power. It was found that when working with fine wood, greater efficiency is achieved by using a drive with a lower rated power, but no less necessary for the drum to work without operating the «No stress» system.

**Key words:** chipper, model, mode, control system «No stress», drive, control, algorithm, Matlab, Simulink.

**Введение.** Для измельчения древесного сырья в щепу лесопромышленными предприятиями используются мобильные и стационарные рубильные машины [1–4]. Условия их эксплуатации существенно отличаются ввиду значительного разнообразия перерабатываемого древесного сырья. В зависимости от технологического процесса предприятия это могут быть отходы лесопильного производства: горбыли, рейки и т. п., лесосечные отходы: сучья, ветви, вершины, тонкомерная древесина, фаутная древесина, дровяное сырье и т. д. [5–8]. Значительные отличия

в виде измельчаемого сырья, его концентрации и степени разнообразия определяют различия в требованиях к рубильным установкам. В рамках данной статьи выполним энергетический анализ работы рубильного модуля мобильной рубильной машины «АМКОДОР 2904». Исходные данные для анализа получены на основе предварительного имитационного компьютерного моделирования в системе Matlab/ Simulink. Этапы моделирования, принятые допущения и возможности имитационной модели подробно изложены в предыдущей статье.

**Основная часть.** Оценка эффективности операции по измельчению древесного сырья проведена для фаутной стволовой древесины различных геометрических размеров. При анализе не учитывалось влияние иных потребителей энергии, кроме непосредственно рубильного барабана. Подача древесного сырья считалась мгновенной и не зависела от работы манипулятора. Работа подающего транспортера описывалась моделью системы «No stress» без задержек.

В качестве оценочных показателей эффективности использованы следующие единичные величины: энергетический коэффициент полезного действия (КПД) барабана, основанный на выполненной им работе как физической величине, и временной КПД барабана, учитывающий затраты времени на измельчение и времени холостого выбега.

В целом рубильная машина является машиной циклического действия с чередующимися операциями подачи сырья манипулятором, подающим транспортером и непосредственным измельчением. При этом отдельно выбранную операцию измельчения древесного сырья следует представлять в виде условно непрерывного процесса. В нем полезная работа прерывается в случае срабатывания системы «No stress» во время повторного разгона барабана до заданной частоты вращения.

В качестве интегрального критерия оценки использована величина реализованного энергетического потенциала (ЭП, %) [9–12]:

$$\text{ЭП} = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} \frac{t_{\text{раб}}}{T_{\text{полн}}},$$

где  $A_{\text{полезн}}$  – полезная работа, выполненная рубильным барабаном за определенный промежуток времени, Дж;  $A_{\text{полн}}$  – полная работа, выполненная приводом рубильного барабана, Дж;  $t_{\text{раб}}$  – продолжительность выполнения полезной работы;  $T_{\text{полн}}$  – полная продолжительность операции.

При анализе режимов работы учтено потребление энергии двигателем на поддержание собственной работы в размере 10% от номинальной величины.

Анализ виртуального эксперимента, проведенного с использованием имитационной модели, позволил установить следующие особенности режимов работы рубильной машины. Первоначальный рост нагрузки на рубильном барабане до 2350 Н·м (рис. 1) вызывает нелинейный рост реализуемого машиной энергетического потенциала с 0,465 до 0,890 (без учета иных операций технологического цикла). С учетом постоянства на данном участке временного КПД (0,97) этот факт обусловлен исключительно нелинейным изменением

энергетического КПД машины вследствие повышения загруженности рубильного барабана и большей полезной работой, выполняемой в единицу времени.

После достижения порога максимального крутящего момента двигателя на его номинальной частоте вращения происходит нелинейное снижение энергетического КПД и ЭП машины (участок II, рис. 1). Основное влияние на качественное изменение кривых ЭП и энергетического КПД на данном участке оказывает величина момента инерции барабана и, соответственно, его кинетическая энергия. Действующие на данном интервале моменты сопротивления вращению барабана вызывают быстрое расхождение данной кинетической энергии. Для ее поддержания снижается частота вращения двигателя, что вызывает рост крутящего момента на коленчатом валу согласно внешней скоростной характеристике. Однако общая потребляемая мощность при этом падает, а следовательно, уменьшается и полезная выполненная работа, что приводит к резкому снижению функции ЭП.

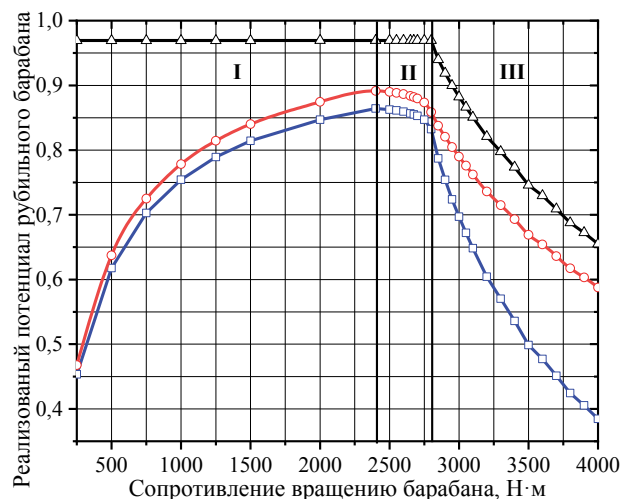


Рис. 1. Реализация потенциала рубильной машины на различных режимах работы при мощности питающего двигателя 238 кВт

Нагрузки свыше 2810 Н·м превышают максимальный крутящий момент на рубильном барабане. Это вызывает нелинейное падение крутящего момента на барабане и, как следствие, падение частоты его вращения до 500 об/мин. При большем снижении частоты вращения система управления «No stress» прекращает подачу древесного сырья транспортером, что способствует быстрому повторному разгону двигателя. Чем выше нагрузка, тем менее продолжительны периоды непрерывного рубления и тем большее количество непроизводительных «откатов» совершает подающий транспортер.

Период разгона барабана является «вредным» временем в технологическом цикле, так как полезная работа в это время не происходит. Кроме того, потребляемая энергия на разгон двигателя также является «вредной» (непроизводительной). Указанные факторы вызывают значительное снижение временного и энергетического КПД рубильной машины, быстрое убывание функции ЭП и в целом снижение эксплуатационной эффективности машины.

Энергетические параметры привода рубильной машины существенно влияют на ее эксплуатационную эффективность. Проследим изменение функции ЭП (рис. 2) для рассматриваемого рубильного модуля при различной питающей мощности привода (138 кВт, 238 кВт и 338 кВт).

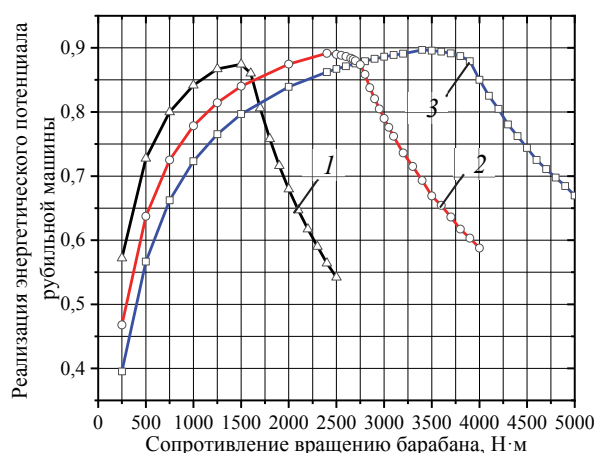


Рис 2. Реализация энергетического потенциала рубильной машины при мощности двигателя, питающего рубильный барабан: 1 – 138 кВт; 2 – 238 кВт; 3 – 338 кВт

По зависимостям ЭП (рис. 2) для постоянных условий эксплуатации однозначно определяются наиболее эффективный привод и номинальная мощность двигателя. Из рассмотренных на рис. 2 вариантов при моментах сопротивления вращению барабана до 1675 Н·м эффективнее использовать привод с двигателем номинальной мощностью 138 кВт. На интервале от 1675 Н·м до 2750 Н·м следует использовать привод с номинальной мощностью двигателя 238 кВт, а далее – 338 кВт.

В реальном лесопромышленном производстве условия эксплуатации характеризуются значительной неоднородностью. Поэтому корректнее проводить анализ не для константных, а для переменных параметров предмета труда. В общем случае переменность диаметров и длин стволовой фаутной древесины как предмета труда для рубильной машины подчинена некоторому закону распределения. К примеру, для получения щепы в условиях нижнего склада либо при работе исключительно после проведения определенного вида рубок силы сопротивления

будут распределены по нормальному закону. Для случая переработки фаутной, ветровальной или буреломной древесины, а также при частом изменении типа перерабатываемого сырья законы распределения сил сопротивления часто отличаются от нормального. Кроме того, для сучьев и ветвей дополнительным определяющим параметром является коэффициент их полндревесности. Однако он, как правило, постоянен. При вариабельности сил сопротивления вращению барабана за счет изменения диаметров стволовой древесины функция ЭП имеет вид

$$\text{ЭП} = \sum_{d=d_{\min}}^{d_{\max}} \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} \frac{t_{\text{раб}}}{T_{\text{полн}}} C(d), \quad (2)$$

где  $d_{\max}$  – максимальный диаметр стволовой древесины, м;  $d_{\min}$  – минимальный диаметр стволовой древесины, м;  $C(d)$  – парциальный коэффициент, учитывающий вероятность работы рубильного модуля со стволовой древесиной заданного диаметра.

В качестве парциальных коэффициентов  $C(d)$ , входящих в выражение (2), принимаются данные распределения диаметров по ступеням толщины [13–15].

**Заключение.** В статье рассмотрена методика оценки эффективности операции рубления древесины в различных условиях эксплуатации и при использовании приводов рубильного барабана различной номинальной мощности. Путем анализа установлено, что при повышении номинальной мощности привода область эффективного использования рубильной машины смещается в зону больших моментов сопротивления вращению барабана. Максимальная достигаемая эффективность процесса рубления также возрастает. К примеру, для мощности двигателя 138 кВт максимальная величина функции ЭПП достигается при моменте сопротивления 1500 Н·м и составляет 0,87, для мощности 238 кВт – 2400 Н·м и 0,89, а для мощности 338 кВт – 3400 Н·м и 0,90 соответственно.

Установлено, что при использовании системы управления «No stress» значительно расширяется диапазон потенциального применения рубильной машины. Однако общая эффективность работы рубильного барабана на участке срабатывания системы «No stress» быстро падает. Характер кривых падения эффективности (функции ЭП) на участках срабатывания системы управления не зависит от номинальной мощности двигателя. При работе с тонкомерной древесиной большая эффективность достигается при использовании привода меньшей номинальной мощности, но не менее необходимой для работы барабана без срабатывания системы «No stress».

Дальнейшие исследования в области моделирования работы рубильной машины будут

направлены на изучение эффективности выполнения всей совокупности операций с учетом при- вода подачи сырья, работы манипулятора, вы-

броса щепы и т. д. Также будет определено влияние на эффективность работы машин объемов за- пасов сырья и наличия отказов.

### Литература

1. Князев А. В., Бородин Н. А. Совершенствование конструкции рубильной машины с использо- ванием пильных дисков в качестве режущего рабочего органа для измельчения отходов лесопиления // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 170–172.
2. Ледницкий А. В. Экономическая оценка эффективности производства круглых лесоматериа- лов и топливной щепы при разработке ветровально-буреломных лесосек // *Труды БГТУ*. 2015. № 7 (180): Экономика и управление. С. 177–181.
3. Германович А. О. Сменная производительность мобильных рубильных машин // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2015. Т. 3, № 4–1 (15–1). С. 283–286.
4. Германович А. О., Лой В. Н., Пищов С. Н. Анализ технологических процессов заготовки щепы мобильными рубильными машинами // *Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г.* Минск: БГТУ, 2017. С. 20–24.
5. Лой В. Н., Германович А. О. Анализ транспортной составляющей технологического цикла мо- бильной рубильной машины // *Труды БГТУ*. 2014. № 2 (166): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 24–27.
6. Коробкин В. А., Веркович Н. А. Рубильные машины ПО «МТЗ» для производства топливной щепы // *Строительные и дорожные машины*. 2008. № 11. С. 16–19.
7. Германович А. О. Тарирование тензорезистивных датчиков для определения крутящего мо- мента привода рубильной установки // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2, № 3–2 (8–2). С. 298–303.
8. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Математическое моделирование работы рубильной машины с учетом запаса сырья // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2017. Т. 5, № 8–1 (34–1). С. 187–191.
9. Голякевич С. А., Пищов С. Н. Информационные технологии в лесном комплексе. Минск: БГТУ, 2018. 123 с.
10. Голякевич С. А. Применение систем адаптивного управления для повышения реализации энергетического потенциала харвестерами // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2017 г. № 2 (198). С. 238–244.
11. Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П. Методика оценки технических характери- стик форвардеров на стадии проектирования // *Труды БГТУ*. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 15–19.
12. Голякевич С. А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаго- товительных машин // *Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Между- нар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г.* Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68.
13. Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Аспекты топливной экономичности многооперационных лес- ных машин // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 27–28 апреля 2017 г.* Могилев: ГУ ВПО «Белорус.-Рос. ун-т». С. 207–208.
14. Голякевич С. А. Имитационное моделирование технологического оборудования форвардера как мехатронной системы // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перера- ботка возобновляемых ресурсов*. 2019. № 2 (222). С. 174–180.
15. Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П. Результаты имитационного моделирования ра- боты гидравлической системы форвардера в MatLab / Simulink / Simscape // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2019. № 1 (216). С. 126–131.

### References

1. Knyazev A. V., Borodin N. A. Chipper machine designs improvement using saw blades as cutting tool for milling sawmill waste. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i prak- tika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, vol. 6, no. 4 (40), pp. 170–172 (In Russian).
2. Lednitskiy A. V. Economic evaluation of the production efficiency of round timber and wood chips when working on windbreak areas. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 7 (180): Economics and management, pp. 177–181 (In Russian).
3. Germanovich A. O. Shift performance of mobile chipper machines. *Aktual'nyye napravleniya nauch- nykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3. no. 4–1 (15–1), pp. 283–286 (In Russian).



4. Germanovich A. O., Loy V. N., Pishchov S. N. Analysis of technological processes of wood chips harvesting by mobile chipper machines. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problem i resheniya"* [Materials of International scientific and technical conference "Logging production: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 20–24 (In Russian).
5. Loy V. N., Germanovich A. O. Analysis of the transport component of the technological cycle of the mobile chipper machine. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no 2 (166): Forest and Woodworking Industry, pp. 24–27 (In Russian).
6. Korobkin V. A., Verkovich N. A Chipper machines by MTZ for wood chips production. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and road cars], 2008, no. 11, pp. 16–19 (In Russian).
7. Germanovich A. O. Calibration of strain gauge sensors to determine the torque of the chipper drive. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014, vol. 2, no. 3–2 (8–2), pp. 298–303 (In Russian).
8. Ignatenko V. V., Leonov Ye. A. Mathematical modeling of the chipper machine operation with taking into account the stock of raw materials. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2017, vol. 5, no. 8–1 (34–1), pp. 187–191 (In Russian).
9. Golyakevich, S. A., Pishchov S. N. *Informatsionnyye tekhnologii v lesnom komplekse* [Information technologies in the forest complex]. Minsk, BGTU Publ., 2018, 123 p.
10. Golyakevich S. A. Application of adaptive control systems to increase the realization of energy potential of harvesters. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 238–244 (In Russian).
11. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R., Mokhov S. P. Methodology for assessing technical characteristics of forwarders at the design stage. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 15–19 (In Russian).
12. Golyakevich S. A. Energy aspects of multioperational forest machines functioning. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya"* [Materials of International scientific and technical conference "Logging production: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 64–68 (In Russian).
13. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R. Fuel economy aspects of multioperational forest machines. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushshiye tekhnologii"* [Materials of the International scientific and technical conference "Materials, equipment and resource-saving technologies"]. Mogilev, 2017, pp. 207–208 (In Russian).
14. Golyakevich S. A. Simulation modeling of technological equipment of a forwarder as mechatronic system. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 174–180 (In Russian).
15. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R., Mokhov S. P. Results of simulation modeling of the hydraulic system of forwarder in MatLab / Simulink / Simscape. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 126–131 (In Russian).

#### Информация об авторе

**Голякевич Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. 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

#### Information about the author

**Golyakevich Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gsa@belstu.by

**Goronovskiy Andrey Romanovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology, Vice-Rector for Logging Machinery. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: arg@belstu.by

Поступила 27.09.2019

УДК 630\*36:621.9

**С. А. Голякевич**

Белорусский государственный технологический университет

**ИМИТАЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
«NO STRESS» РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

В статье рассмотрены общие принципы имитационного моделирования технологического оборудования рубильной машины в составе рубильного барабана и подающего транспортера, приводимых в движение от автономного двигателя. Рассмотрено моделирование системы управления «No stress» рубильным модулем. Данные, используемые в статье, соответствуют выполнению операции измельчения древесины. При разработке имитационной модели была использована среда Matlab с пакетами приложений Simulink/Simscape. В основе модели лежит привод рубильного модуля Kesla C645 мобильной рубильной машины «АМКОДОР 2904». В статье изложены технические характеристики компонентов моделируемой мехатронной системы и диапазоны их изменения. Даны разъяснения работы логической цепочки системы управления и отклика управляемых систем. При реализации модели были приняты следующие допущения: модель автономного двигателя описывается его внешней скоростной характеристикой; привод барабана от двигателя выполнен абсолютно жестким и не учитывает инерционности масс привода и жесткости соединительных звеньев. Модель не учитывает параметры конструкции рубильного барабана, последовательность резания древесины резцами, время регулирования привода подачи сырья и связанные с этим задержки срабатывания исполнительных гидромоторов.

В качестве примера приведены данные о режимах работы привода при измельчении стволовой древесины. В заключении статьи приводятся рекомендации по дальнейшему использованию имитационной модели.

**Ключевые слова:** рубильная машина, модель, режим, система управления «No stress», привод, управление, алгоритм, Matlab, Simulink.

**S. A. Golyakevich**

Belarusian State Technological University

**COMPUTER SIMULATION MODELING  
OF THE SYSTEM “NO STRESS” CHIPPER**

The article discusses the general principles of simulation modeling of technological equipment of the chipper as part of the chipper drum and feed conveyor driven by an autonomous engine. The modeling of the control system “No stress” by the chipping module is considered. The data used in the article correspond to the operation of chopping wood. When developing the simulation model, the Matlab environment with the Simulink / Simscape application packages was used. The model is based on the Kesla C646 chopper module drive of the AMKODOR 2904 mobile chopper. The article describes the technical characteristics of the components of the simulated mechatronic system and the ranges of their changes. Explanations are given of the operation of the logical chain of the control system and the response of the managed systems. When implementing the model, the following assumptions were made: the autonomous engine model is described by its external speed characteristic; the drum drive from the engine is absolutely rigid and does not take into account the inertia of the masses of the drive and the rigidity of the connecting links. The model does not take into account the design parameters of the chopping drum, the sequence of cutting wood with cutters, the regulation time of the feed water supply and the associated operation delays of the actuating motors. As an example, data are given on the operating modes of the drive when grinding stem wood. The article concludes with recommendations for the further use of the simulation model.

**Keywords:** chipper, model, mode, control system “No stress”, drive, control, algorithm, Matlab, Simulink.

**Введение.** Практика эксплуатации лесозаготовительных машин показывает, что использование в их конструкции систем автоматизированного управления рабочими органами позволяет существенно повысить их производительность, экономичность и в целом эксплуатационную эффективность [1–5]. Наиболее существенно это

проявляется в энергонасыщенных многооперационных машинах. Подобные системы отвечают за автоматическое выполнение циклически повторяющихся операций, участвуют в синхронизации движения элементов рабочих органов, следят за комфортностью условий труда оператора, а также обеспечивают защиту самих рабочих

органов от эксплуатационных повреждений. Существуют также автоматизированные системы, в которых проявляется сразу несколько из приведенных выше свойств. Одной из них является система управления подачей сырья в рубильной машине. В литературе [6, 7, 8] такие системы получили краткое наименование «No stress», что указывает на первоочередную ее функцию – обеспечить защиту рубильного модуля от перегрузок.

Проведенное имитационное моделирование работы данной системы позволило установить ряд ее важных дополнительных качеств. При переработке сырья, требующего высоких энергозатрат, использование данной системы способно существенно повысить эксплуатационную эффективность машины.

**Основная часть.** Имитационное моделирование проводилось для рубильной машины «АМКОДОР 2904» (рис. 1) с рубильным модулем Kesla C645, подключенным к автономному двигателю Deutz TCD 2013 L06 4V. Технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Технические характеристики  
рубильной машины «АМКОДОР 2904»**

Наименование параметра	Значение
Рубильный модуль	Kesla c645
Габариты загрузочного окна, мм:	
ширина	600
высота	450
Высота выгрузки щепы	5500
Размер ячеек калибровочного сита, мм	50×50
Манипулятор	Kesla 600
Вылет стрелы манипулятора, мм	8200
Момент грузовой, кН·м	80
Грузоподъемность при максимальном вылете (без учета веса ротатора и захвата), кг	740
Угол поворота в горизонтальной плоскости, град.	380
Диаметр охватываемого дерева грейфером (минимальный), мм	45
Площадь охвата грейфера, м <sup>2</sup>	0,15
Автономный двигатель	Deutz TCD 2013L06 4V 238 кВт (324 л.с.) при 2200 об/мин

В качестве загрузочного устройства на рубильной машине «АМКОДОР 2904» установлен манипулятор Kesla 600. Аналогичный манипулятор также устанавливается на форвардеры 2661-01, 2662, 2682-01. Его имитационное моделирование осуществлялось ранее [9, 10], как манипулятора

форвардера «АМКОДОР 2661-01». Гидравлическая система его привода, питающий двигатель и система управления манипулятором, чувствительная к нагрузке, на рассматриваемой модели рубильной машины также аналогична форвардеру 2661-01.

Технически привод отдельных органов рубильного модуля реализован следующим образом. Рубильный барабан и вентилятор выброса щепы приводятся в действие механически от двигателя, через защитную муфту сцепления, карданную и ременную передачи с передаточным числом 2,27.

Транспортер и подающий валец загрузочного окна приводятся в действие двумя гидромоторами, подключенными в гидравлической схеме последовательно. За счет этого достигается синхронность их вращения. Источником энергии при этом является отдельный гидравлический насос, подключенный к автономному двигателю Deutz TCD 2013 L06 4V.



Рис 1. Рубильная машина «АМКОДОР 2904»

Основной задачей автоматизированной системы управления рубильным модулем является слежение за частотой вращения рубильного барабана (а также двигателя) при изменяющейся нагрузке и в случае ее падения ниже 500 об/мин осуществление остановки подающего транспортера и, соответственно, поступающего древесного сырья.

Технически частота вращения барабана регистрируется соответствующим датчиком. Система управления сравнивает частоту вращения в текущий момент времени с предыдущим. Если наблюдается возрастание частоты вращения и ее величина не превышает 1000 об/мин, то нагрузка на барабан не подается. При достижении частоты вращения 1000 об/мин включается подающий транспортер и на рубильном барабане, при наличии сырья, возникает полезная нагрузка. В случае регистрации отрицательного градиента частоты вращения до уровня не ниже 500 об/мин – работа подающего транспортера сохраняется. При падении частоты вращения ниже 500 об/мин гидравлическая система привода подающего транспортера блокируется и вновь возобновляется только после достижения частоты вращения барабана 1000 об/мин. Таким

образом обеспечивается защита двигателя от перегрузки. Такая работа системы управления характерна для крупного древесного сырья. При этом измельчение сырья происходит импульсно, что сказывается на производительности работы. Работа рубильного модуля в имитационной модели (схема модели – рис. 2) реализована в среде MATLAB/Simulink с использованием библиотек Simscape следующим образом.

При реализации модели были приняты следующие допущения: модель автономного двигателя описывается его внешней скоростной

характеристикой; привод барабана от двигателя выполнен абсолютно жестким и не учитывает инерционности масс привода и жесткости соединительных звеньев. Также модель не учитывает параметры конструкции рубильного барабана, последовательность резания древесины резцами, время регулирования привода подачи сырья и связанные с этим задержки срабатывания исполнительных гидромоторов. Данные допущения незначительно влияют на точность определения энергетических характеристик привода и параметров работы системы в целом.

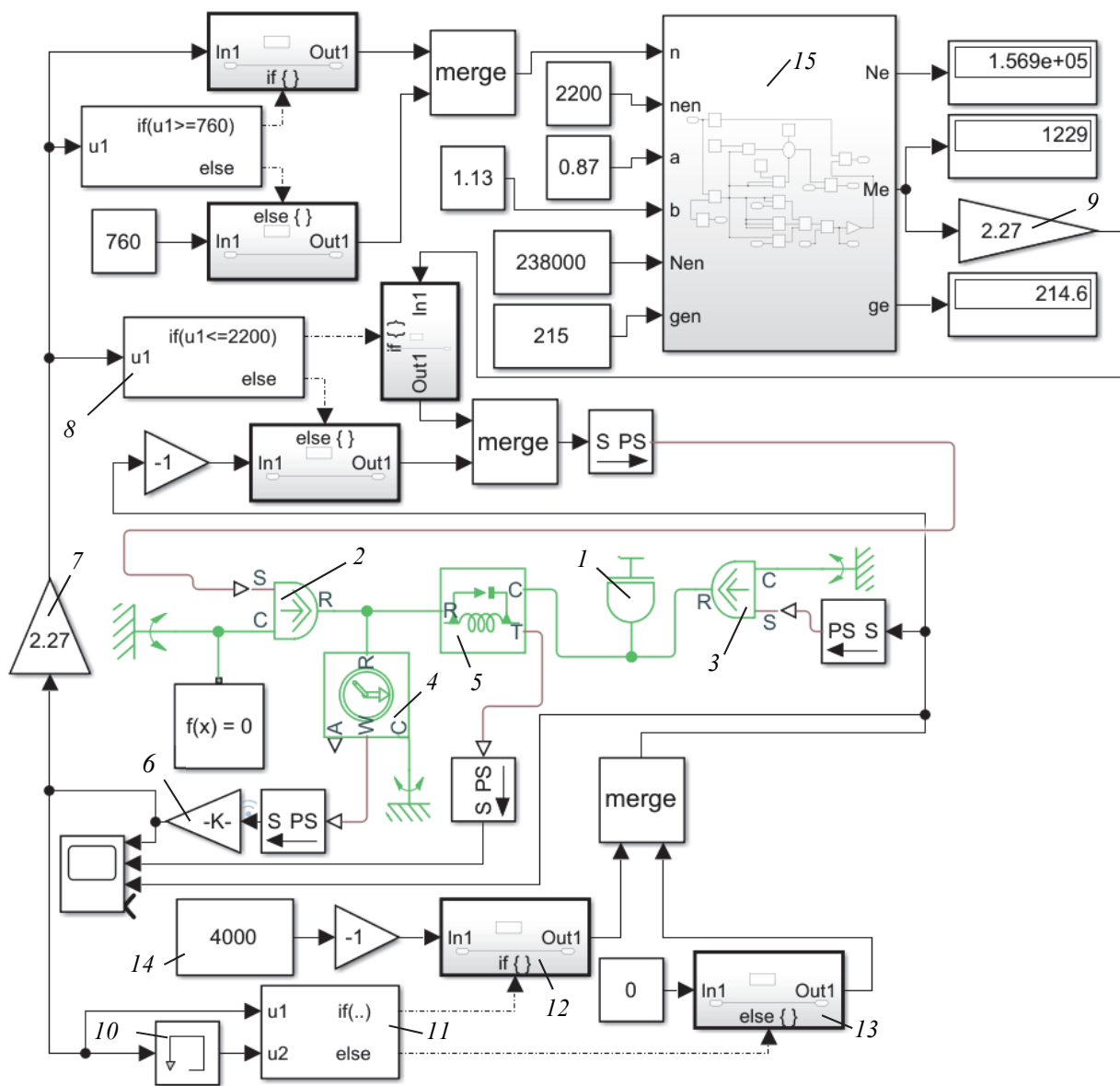


Рис. 2. Схема имитационной модели привода рубильного барабана с системой управления «No stress»:

- 1 – рубильный барабан; 2 – источник крутящего момента; 3 – источник момента сопротивления;
- 4 – датчик частоты вращения; 5 – датчик крутящего момента; 6 – блок «Gain» для преобразования размерности; 7, 9 – блоки «Gain», имитирующие передаточное число ременной передачи;
- 8 – блок переключателя по условию; 10 – блок памяти «Memory»; 11 – блок условного перехода «if/else»;
- 12, 13 – блоки действия «If action»; 14 – блок задания величины сопротивления вращению барабана;
- 15 – модель двигателя

Барабан 1 (рис. 2) задан в виде инерционной вращающейся массы «*Inertia*», приводимой в движение потоком мощности от ременной передачи. Момент инерции барабана принят равным  $97 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  на основании предварительного трехмерного конечно-элементного моделирования его конструкции. Крутящий момент подводится к барабану с использованием элемента *Simulink* «*Ideal Torque Source*» 2 (рис. 2) (источник крутящего момента)

Внешние силы сопротивления, действующие на барабан со стороны измельчаемой древесины, заданы с другой стороны аналогичным образом 3 (рис. 2).

Регистрация мгновенных значений частоты вращения барабана и крутящего момента на его валу осуществляется с использованием элементов «*Ideal Rotational Motion Sensor*» (рис. 2, поз. 4) и «*Ideal Torque Sensor*» 5 (рис. 2) соответственно. Для преобразования размерности величины частоты вращения используется блок усиления «*Gain*» 6 (рис. 2) с соответствующим коэффициентом.

Величина частоты вращения одновременно используется тремя элементами модели:

- после увеличения с коэффициентом передаточного числа ременной передачи 7 (рис. 2) в качестве входного сигнала мгновенной частоты вращения двигателя;

- в неизменном виде, как ограничитель роста частоты вращения 8 (рис. 2) на рубильном барабане (не более 1000 об/мин);

- в неизменном виде для построения логической цепочки, моделирующей наличие или отсутствие нагрузки на валу барабана.

Входной сигнал мгновенной частоты вращения двигателя анализируется следующей логической цепочкой. В случае, если частота вращения двигателя больше минимальной частоты холостого хода 760 об/мин, на вход двигателя она подается в неизменном виде. Если частота вращения ниже, то используется константная величина 760 об/мин. Это необходимо для моделирования первичного состояния двигателя.

Выходным сигналом двигателя, необходимым для моделирования, является величина крутящего момента, преобразованная с учетом передаточного числа ременной передачи. В случае, если частота вращения барабана не превышает 1000 об/мин, блок переключателя 8 (рис. 2) пропускает на вход источника крутящего момента 2 (рис. 2) величину крутящего момента, передаваемую от блока 9 (рис. 2). В ином случае на вход источника поступает значение 0.

Для построения логической цепочки, моделирующей наличие или отсутствие нагрузки на валу барабана, предварительно используется блок памяти «*Memory*» 10 (рис. 2). Он хранит

значение частоты вращения барабана, полученное на предыдущем шаге интегрирования. Если текущее значение частоты вращения барабана равно либо превышает 990 об/мин и при этом она больше либо равна предыдущему значению, а также если частота больше либо равна 500 об/мин и при этом ее текущее значение меньше либо равно предыдущему, то управляющий сигнал подается на блок действия «*If action*» 12, иначе на блок действия 13 (рис. 2). На блок 12 в качестве пропускаемого по условию сигнала поступает величина крутящего момента сопротивления, полученная по результатам ранее проведенных исследований [11–15]. На блок 13 подается нулевая величина крутящего момента, что соответствует отключению подачи транспортера в реальной машине.

В модели величина момента сопротивления рубильному барабану 14 (рис. 2) может быть задана в виде константы, функциональной зависимости либо случайной величины. Константная величина в большей степени соответствует процессу стволовой древесины больших диаметров. Использование случайной величины, изменяющейся относительно некоторого среднего значения, более характерно для измельчения пакетов ветвей, сучьев или тонкомерной древесины.

По результатам моделирования получены данные о режимах работы рубильного барабана. В качестве примера рассмотрим процесс измельчения сортамента (рис. 3.)

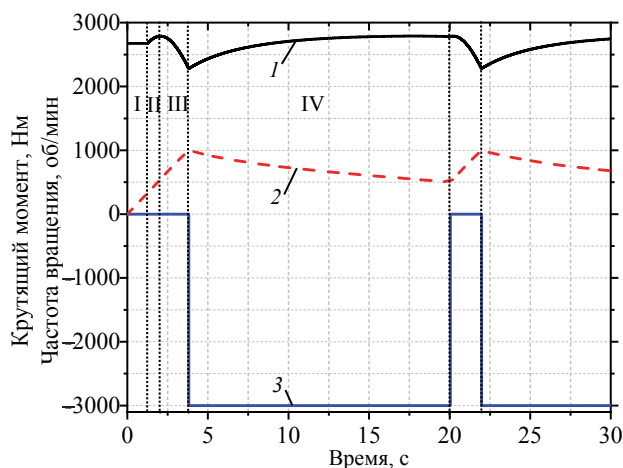


Рис. 3. Режим работы привода рубильного барабана: 1 — крутящий момент, подводимый к барабану; 2 — частота вращения барабана; 3 — момент сил резания

В режиме работы барабана под управлением системы «*No stress*» наблюдается четыре основных этапа.

На I этапе двигатель запущен и работает на частоте холостого хода. Величина крутящего момента, передаваемого на рубильный барабан, соответствует внешней скоростной характеристике.

Происходит разгон рубильного барабана. Разность скоростей вращения барабана и двигателя компенсируется работой муфты сцепления. При выравнивании частот вращения работа оборудования переходит ко второму этапу.

На этапе II происходит увеличение частоты вращения двигателя от величины холостого хода 760 об/мин до 1600 об/мин, что соответствует наибольшему крутящему моменту на скоростной характеристике.

На этапе III частота барабана достигает своих номинальных значений (990 об/мин). Ускоренное движение барабана заканчивается, что является сигналом для систем управления к включению подающего транспортера и подачи сырья.

На IV этапе происходит измельчение древесины, что характеризуется снижением частоты вращения рубильного барабана за счет действия на него момента силы резания. Снижение частоты вращения нелинейно и замедляется с течением времени. Это обусловлено синхронным снижением частоты вращения двигателя и, как следствие, ростом крутящего момента на его колленчатом валу.

В конце четвертого этапа частота вращения барабана падает ниже 500 об/мин, что является сигналом к срабатыванию системы «No stress», отключению подачи сырья подающим транспортером и разгону рубильного барабана. Далее процесс измельчения повторяется. Процесс непосредственного измельчения древесного сырья длится в течение 16,25 с.

С увеличением момента сопротивления, резанию частота включения системы «No stress» увеличивается, а продолжительность непрерывного измельчения снижается (табл. 2).

Так, при моменте сопротивления, равном 3500 Н·м, продолжительность непрерывного измельчения составляет 6 с, а при 4000 Н·м – 3,8 с.

Характерными являются интервалы моментов сопротивления резанию до 2290 Н·м и от 2290 до 2800 Н·м. Если момент сопротивления резанию не превышает 2290 Н·м, то рубильный барабан и двигатель работают при номинальных частотах вращения и снижения скорости измельчения нет.

В интервале моментов сопротивления резанию 2290–2810 Н·м сохраняется непрерывное рубление. При этом частота вращения барабана нелинейно падает и при моменте сопротивления 2800 Н·м достигает 500 об/мин. При большем увеличении момента сопротивления периодически срабатывает система управления.

Таблица 2

**Продолжительность непрерывного процесса измельчения при различных моментах сопротивления резанию**

Момент сопротивления резанию, Н·м	Продолжительность непрерывного измельчения, с
2810	82,0
2830	52,3
2850	40,0
2870	32,7
2890	28,0
2900	26,2
3000	16,25
3100	12,0
3200	9,6
3500	6,0
4000	3,8
4500	2,75

**Заключение.** Использование системы «No stress» в рассмотренной конструкции рубильной машины оправдано при измельчении древесного сырья, создающего моменты сопротивления вращению барабана до 3500 Н·м. В случае возникновения больших моментов сопротивления, время непрерывного измельчения падает до 6 с и менее. При этом время, затрачиваемое на повторный разгон рубильного барабана, составляет 1,9 с, т. е. в общем цикле работы время холостого выбега барабана, без учета затрат на доставку древесного материала манипулятором, составляет 28–30% от продолжительности цикла, что нельзя считать рациональным для обеспечения производительной работы машины.

Значительную роль в интенсификации рассматриваемой операции играет инерционность рубильного барабана. При ее увеличении в 2 раза продолжительность непрерывного измельчения увеличивается с 6 с до 12 с. Однако также в 2 раза возрастает время разгона рубильного барабана. Соотношение временных затрат не изменяется, но появляется возможность измельчения более крупного древесного сырья создающего большие моменты сопротивления.

Более точное заключение о приемлемости конкретных рабочих режимов можно дать на основании интегрального анализа времени выполнения рабочего цикла и его энергетических затрат, а также на основе экономической оценки [13–15] с использованием данных из рассмотренной имитационной модели.

### Литература

1. Голякевич С. А., Пищов С. Н. Информационные технологии в лесном комплексе. Минск: БГТУ, 2018. 123 с.



2. Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Аспекты топливной экономичности многооперационных лесных машин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 27–28 апреля 2017 г. Могилев: ГУ ВПО «Белорус.-Рос. ун-т». С. 207–208.
3. Голякевич С. А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017. Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68.
4. Голякевич С. А. Применение систем адаптивного управления для повышения реализации энергетического потенциала харвестерами // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017 г. № 2 (198). С. 238–244.
5. Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П. Методика оценки технических характеристик форвардеров на стадии проектирования // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 15–19.
6. Коробкин В. А., Веркович Н. А. Рубильные машины ПО «МТЗ» для производства топливной щепы // Строительные и дорожные машины. 2008. № 11. С. 16–19.
7. Лой В. Н., Германович А. О. Анализ транспортной составляющей технологического цикла мобильной рубильной машины // Труды БГТУ. 2014. № 2 (166): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 24–27.
8. Германович А. О., Лой В. Н., Пищов С. Н. Анализ технологических процессов заготовки щепы мобильными рубильными машинами // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 20–24.
9. Голякевич С. А. Имитационное моделирование технологического оборудования форвардера как мехатронной системы // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 174–180.
10. Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П. Результаты имитационного моделирования работы гидравлической системы форвардера в MatLab / Simulink / Simscape // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 126–131.
11. Германович А. О. Тарирование тензорезистивных датчиков для определения крутящего момента привода рубильной установки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3–2 (8–2). С. 298–303.
12. Германович А. О. Сменная производительность мобильных рубильных машин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 4–1 (15–1). С. 283–286.
13. Ледницкий А. В. Экономическая оценка эффективности производства круглых лесоматериалов и топливной щепы при разработке ветровально-буреломных лесосек // Труды БГТУ. 2015. № 7 (180): Экономика и управление. С. 177–181.
14. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Математическое моделирование работы рубильной машины с учетом запаса сырья // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 8–1 (34–1). С. 187–191.
15. Князев А. В., Бородин Н. А. Совершенствование конструкции рубильной машины с использованием пильных дисков в качестве режущего рабочего органа для измельчения отходов лесопиления // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 170–172.

## References

1. Golyakevich, S. A., Pishchov S. N. *Informatsionnyye tekhnologii v lesnom komplekse* [Information technologies in the forest complex]. Minsk, BGTU Publ., 2018, 123 p.
2. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R. Fuel economy aspects of multioperational forest machines. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Materialy, oborudovaniye i resurso-sberegayushshiy tekhnologii"* [Materials of the International scientific and technical conference "Materials, equipment and resource-saving technologies"]. Mogilev, 2017, pp. 207–208 (In Russian).
3. Golyakevich S. A. Energy aspects of multioperational forest machines functioning. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya"* [Materials of International scientific and technical conference "Logging production: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 64–68 (In Russian).
4. Golyakevich S. A. Application of adaptive control systems to increase the realization of energy potential of harvesters. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 238–244 (In Russian).
5. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R., Mokhov S. P. Methodology for assessing technical characteristics of forwarders at the design stage. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 15–19 (In Russian).

6. Korobkin V. A., Verkovich N. A Chipper machines by MTZ for wood chips production. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and road cars], 2008, no. 11, pp. 16–19 (In Russian).
7. Loy V. N., Germanovich A. O. Analysis of the transport component of the technological cycle of the mobile chipper machine. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2 (166): Forest and Woodworking Industry, pp. 24–27 (In Russian).
8. Germanovich A. O., Loy V. N., Pishchov S. N. Analysis of technological processes of wood chips harvesting by mobile chipper machines. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problem i resheniya"* [Materials of International scientific and technical conference "Logging production: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 20–24 (In Russian).
9. Golyakevich S. A. Simulation modeling of technological equipment of a forwarder as mechatronic system. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 174–180 (In Russian).
10. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R., Mokhov S. P. Results of simulation modeling of the hydraulic system of forwarder in MatLab / Simulink / Simscape. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 126–131 (In Russian).
11. Germanovich A. O. Calibration of strain gauge sensors to determine the torque of the chipper drive. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014, vol. 2, no. 3–2 (8–2), pp. 298–303 (In Russian).
12. Germanovich A. O. Shift performance of mobile chipper machines. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 4–1 (15–1), pp. 283–286 (In Russian).
13. Lednitskiy A. V. Economic evaluation of the production efficiency of round timber and wood chips when working on windbreak areas. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 7 (180): Economics and management, pp. 177–181 (In Russian).
14. Ignatenko V. V., Leonov Ye. A. Mathematical modeling of the chipper machine operation with taking into account the stock of raw materials. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2017, vol. 5, no. 8–1 (34–1), pp. 187–191 (In Russian).
15. Knyazev A. V., Borodin N. A. Chipper machine designs improvement using saw blades as cutting tool for milling sawmill waste. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, vol. 6, no. 4 (40), pp. 170–172 (In Russian).

#### Информация об авторе

**Голякевич Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

#### Information about the author

**Golyakevich Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gsa@belstu.by

Поступила 27.09.2019

УДК 630\*377.4

**Ю. А. Ким, М. Т. Насковец, Н. И. Жарков, В. И. Гиль**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ**

В связи с ростом массы транспортных средств, вызванных требованиями повышения их производительности, возрастают нагрузки на дорожное покрытие со стороны ходовых систем. Это, в свою очередь, приводит к разрушению опорной поверхности, увеличению сил сопротивления передвижению и увеличению энергозатрат. Поэтому вопросы, связанные с процессом взаимодействия колеса с опорной поверхностью по-прежнему являются актуальными.

В статье рассмотрен вопрос взаимодействия движителя ходовых систем (колеса) с грунтовым основанием. При взаимодействии пневматического колеса с почвогрунтом происходит взаимная деформация контактирующих тел. Если известны форма и размеры жесткого колеса, то при заданной максимальной глубине его погружения можно определить как форму поверхности контакта, так и закон распределения вертикальных перемещений частиц почвы. Разработана математическая модель, описывающая этот процесс, отличающаяся от существующих тем, что форма поверхности контакта не задается, а рассчитывается исходя из условий взаимодействия.

В результате проведенных исследований получено решение, позволяющее определять величину и характер распределения напряжений, а также момент сопротивления качению колеса и его зависимость от свойств взаимодействующих тел.

**Ключевые слова:** ходовая система, колесный движитель, грунтовое основание, объемная деформация, поверхность контакта, гармоническая функция, ряды Фурье.

**Yu. A. Kim, M. T. Naskovets, N. I. Zharkov, V. I. Gil**  
Belarusian State Technological University

### **INTERACTION OF THE WHEEL DRIVING SYSTEM WITH GROUND BASIS**

In connection with the growth of energy saturation of agricultural machines, row tractors and special purpose tractors, their mass increases, and consequently the loads of their running systems increase on the supporting surface. As a consequence, there are such negative phenomena as overgrazing of soil above permissible norms, there are energy costs for movement.

The article considers the issue of the interaction of the propulsion system of the undercarriage systems (wheels) with the soil base. When the pneumatic wheel interacts with the soil, mutual deformation of the contacting bodies occurs. If the shape and dimensions of the hard wheel are known, then for a given maximum depth of its immersion, you can determine both the shape of the contact surface and the law of distribution of vertical movements of soil particles. A mathematical model has been developed that describes this process, which differs from the existing ones in that the shape of the contact surface is not specified, but calculated based on the interaction conditions.

As a result of the research, a solution was obtained that allows one to determine the magnitude and nature of the stress distribution, as well as the moment of rolling resistance of the wheel and its dependence on the properties of interacting bodies.

**Key words:** undercarriage, wheel mover, soil base, volumetric deformation, contact surface, harmonic function, Fourier series.

**Введение.** Исследователь, указывает профессор Орнатский Н. В. [1], посвящающий свои силы изучению грунтов, неизбежно сталкивается с большой сложностью процессов их формирования и с чрезвычайным разнообразием их свойств. Поэтому к изучению грунтов необходимо подходить со строгим учетом их индивидуальных особенностей. Однако было бы неправильным, ориентируясь на эту необходимость, не использовать возможности рассмотрения некоторых общих зависимостей, вытекающих из применения

к грунтам основных физических законов, имеющих всеобъемлющий характер и не исключających из сферы своего действия ни одного материального тела, в том числе и грунта. Реальные грунты всегда лишь в принципе следуют механической схеме, так как многообразие факторов, влияющих на особенности поведения грунта в тех или иных условиях, не может быть учтено даже самой совершенной схемой, при этом, являясь приемлемой и безусловно полезной в своем, сравнительно узком, кругу частных применений.

В зависимости от скорости деформирования грунтовые основания могут вести себя по-разному, а именно при небольшом интервале времени действия нагрузки наиболее ярко проявляются упругие свойства, и наоборот, при длительном воздействии больших по величине статических нагрузок грунт проявляет реологические свойства.

Однако реальные почвогрунты не являются чисто упругими и чисто пластичными. Один и тот же почвогрунт при различных условиях деформации проявляет свойства как упругости, так и пластичности [2, 3]. Деформация почвогрунтов сопровождается разрушением частиц и структурных агрегатов, выжиманием воды и воздуха из пор. Относительная доля того или иного из приведенных выше явлений зависит от состояния почвогрунта. Сжатие воды и защемление объемов воздуха определяют процессы упругой деформации, фильтрацию воздуха и воды, а также относительные сдвиги частиц и разрушение структурных элементов – необратимые [4, 5, 6].

При рассмотрении вопроса воздействия колесного движителя на грунтовое дорожное покрытие последнее, ввиду кратковременности действия нагрузки, можно с достаточной степенью точности рассматривать как упругое основание.

**Основная часть.** Несмотря на известные недостатки, модель упругого полупространства заняла ведущее место в задачах статики конструкций на упругом основании и широко применяется для исследования напряженно-деформированного состояния грунтового массива методами теории упругости. Поскольку в задачах динамики имеют место малые деформации, быстро изменяющиеся во времени, применение в этом случае к грунту схемы упругого полупространства с моделью линейно деформируемой среды является еще более оправданным, чем в задачах статики [7]. При малых нагрузках деформация прямо пропорциональна им, то есть грунт в этом случае проявляет себя как линейно деформируемое тело.

Взаимодействие колесного движителя с почвой сопровождается большими скоростями деформации грунта [8]. Значение динамического модуля определяется по формуле

$$E_d = E(1 + \Omega\sqrt{v_k}), \quad (1)$$

где  $\Omega$  – коэффициент, зависящий от вида грунта, равен для связного 0,09–0,11, для несвязного 0,06–0,08;  $v_k$  – скорость поступательного движения колеса. Справедливо при  $v_k < 5,5$  м/с.

В случае, если верхний слой опорной поверхности достаточно мощный, последнюю можно рассматривать как бесконечное полупространство.

В процессе взаимодействия каждая частица почвы перемещается по сложной траектории. При этом чем больше размеры колеса, тем больше преобладают вертикальные перемещения в направлении  $oz$ . Обозначим перемещения частиц почвы по направлениям осей координат  $ox$ ,  $oy$ ,  $oz$  соответственно  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$ , а также для краткости  $x_1 = x$ ,  $x_2 = y$ ,  $x_3 = z$ . Перемещения  $u_i$  для упругого полупространства должны удовлетворять уравнениям равновесия Ляме [9].

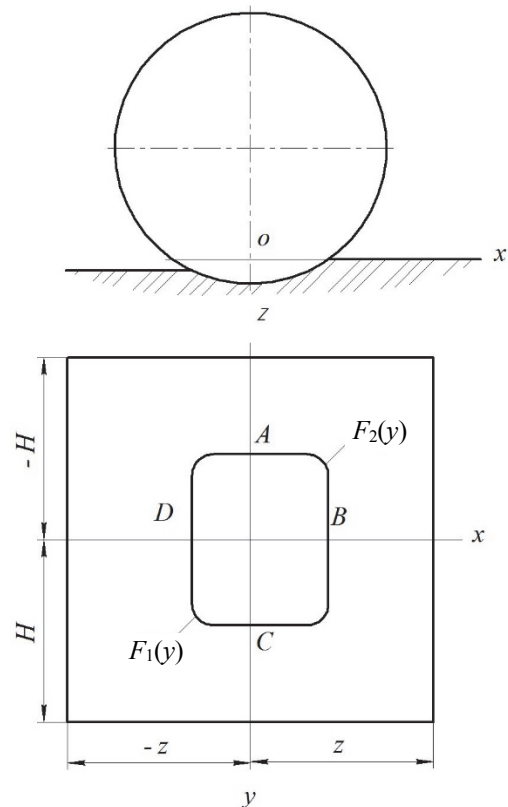


Рис. 1. Схема расположения координат для однородного полупространства

$$\nabla u_i + (k+1) \frac{\delta\theta}{\delta x_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где  $k = \lambda / \mu$ , а  $\lambda$  и  $\mu$  – коэффициенты Ляме:

$$\lambda = \frac{E\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}; \quad \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)},$$

здесь  $\nabla$  – оператор Лапласа;  $\sigma$  – коэффициент поперечной деформации;  $E$  – модуль деформации почвы;  $\theta$  – объемная деформация.

$$\theta = \sum_{i=1}^3 \frac{\delta u_i}{\delta x_i}.$$

Общее решение уравнений (2) имеет вид [9]

$$u_i = \varphi_i + z \frac{\delta \Psi_i}{\delta x_i}, \quad (3)$$

где  $\varphi_i$  – произвольные гармонические функции.

Функция  $\Psi$  определяется из уравнения

$$\frac{\delta\Psi}{\delta z} = -\frac{k+1}{k+3} \sum_{i=1}^3 \frac{\delta\varphi_i}{\delta x_i}.$$

Почвогрунт по физическим свойствам не является однородной средой. Модуль деформации  $E$  может считаться постоянной величиной только в пределах отдельных слоев. Представление грунтового основания в виде многослойной анизотропной среды с числом слоев больше двух делает математическую модель более адекватной, но приводит к значительным трудностям вычислительного характера, а также громоздким уравнениям для вычисления коэффициентов ряда.

Определим форму поверхности контакта с почвой при заданной наибольшей глубине погружения  $H$ , жесткого колеса, имеющего форму и размеры рассматриваемого пневматического при давлении воздуха в шине  $P$ , равном нулю. Перемещения частиц почвы на расстояние  $y$  от средней плоскости вращения колеса определяются из выражения

$$f(x, y) = H(y) - R(y) + \sqrt{[R(y)]^2 - x^2}, \quad (4)$$

где  $H(y)$  – наибольшая глубина погружения колеса в почву в том же сечении;  $R(y)$  – радиус сечения, расположенного на расстоянии от средней плоскости вращения колеса.

На рис. 2 изображена схема к определению функции деформации почвы под жестким колесом.

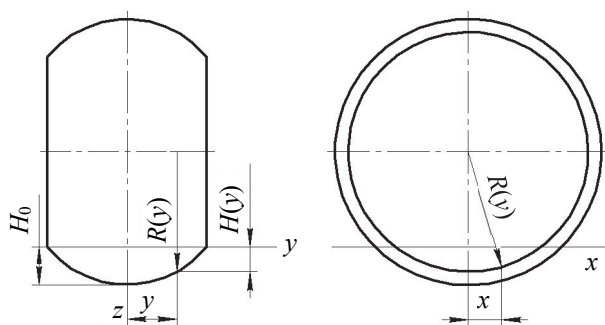


Рис. 2. Схема к определению функции деформации

Искомые функции  $\varphi_i$ , входящие в уравнение (3), являются гармоническими. Поэтому решение удобно представить в виде двойного тригонометрического ряда Фурье [10]. Функции, разложенные в ряд Фурье, являются периодическими, поэтому математически представляется, что вне области интегрирования (в областях, смежных с областью пятна контакта колеса с почвой) действуют такие же нагрузки (рис. 3).

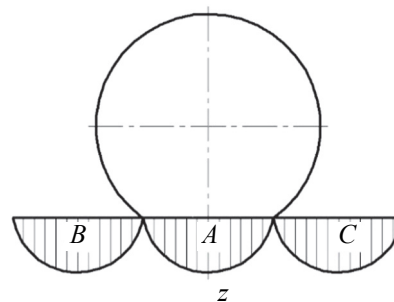


Рис. 3. Схема действия нагрузки при области интегрирования, равной длине контакта

В действительности это не так. Поэтому область интегрирования необходимо расширить. Чем шире область интегрирования, тем меньше влияние соседних нагрузок  $A$  и  $C$  на напряжения и деформации от нагрузки  $B$  (рис. 4). По принципу Сен Венана напряжения и деформации в массиве убывают по мере удаления от места приложения нагрузки [11]. Вследствие этого область изменения  $x$  и  $y$  представим в виде прямоугольника со сторонами  $2z$  и  $2H$ :  $z = 4R_k$ ,  $H = 4B$ ,  $R_k$  и  $B$  – соответственно радиус и половина ширины колеса.

Разложим функцию деформации почвы под жестким колесом  $f(x, y)$  в двойной тригонометрический ряд Фурье по  $x$  и  $y$ .

$$\begin{aligned} f(x, y) = & \frac{a_0}{4} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} c_i(y) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} a_{k0} c_k(x) + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} b_{0i} S_i(y) + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} [a_{ki} c_k(x) c_i(y) + \\ & + b_{ki} S_i(y) c_k(x) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} a_{k0} S_k(x) + \\ & + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} [a_{ki} c_i(y) S_k(x) + \beta_{ki} S_i(y) S_k(x)], \quad (5) \end{aligned}$$

где для краткости, обозначено

$$\begin{aligned} S_k(x) &= \sin\left(\frac{k\pi x}{z}\right); \quad c_k(x) = \cos\left(\frac{k\pi x}{z}\right); \\ S_i(y) &= \sin\left(\frac{i\pi y}{H}\right); \quad c_i(y) = \cos\left(\frac{i\pi y}{H}\right). \end{aligned}$$

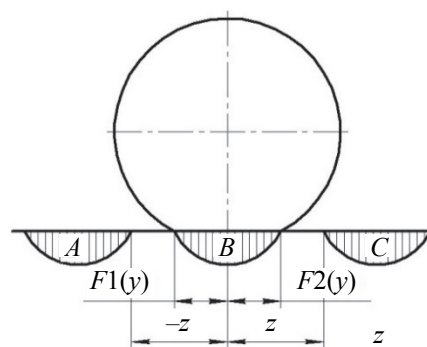


Рис. 4. Схема действия нагрузки при области интегрирования большей, чем пятно контакта

Коэффициенты ряда вычисляются по квадратным формулам:

$$a_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{-z-H}^z \int_{-z-H}^H f(x, y) c_k(x) dx c_i(y) dy;$$

$$b_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{-z-H}^z \int_{-z-H}^H f(x, y) c_k(x) dx S_i(y) dy;$$

$$\alpha_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{-z-H}^z \int_{-z-H}^H f(x, y) c_i(x) dx S_k(x) dx;$$

$$\alpha_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{-z-H}^z \int_{-z-H}^H f(x, y) c_i(x) dx S_k(x) dx. \quad (6)$$

Для нахождения коэффициентов ряда необходимо значения  $f(x, y)$ , найденные из (4), подставить в формулы (6).

Контур поверхности контакта ограничен двумя кривыми (рис. 1), уравнения которых  $x_1 = F_1(y)$ ,  $x_2 = F_2(y)$  получены из выражения (4) при условии, что  $f(x, y) = 0$ . Уравнения кривых  $ADC$  и  $ABC$ :

$$x_1(y) = -\sqrt{2(R_k - \alpha y^4)(H_0 - \alpha y^4)} \delta - (H_0 - y^4)^2 \delta^2;$$

$$x_2(y) = \sqrt{(R_k - \alpha y^4)^2 - (R_k - H_0)^2},$$

где  $R_k - \alpha y^4$  – уравнение профиля шины;  $\delta$  – коэффициент упругого восстановления почвы. Деформация почвы на поверхности происходит лишь в области контакта, пределы интегрирования в формулах (6) по  $x$  от  $-z$  до  $z$  следует заменить на пределы от  $F_1(y)$  до  $F_2(y)$ .

Значения функции  $f(x, y)$  в интервалах изменения  $x$  от  $-z$  до  $F_1(y)$  и от  $F_2(y)$  до  $z$  равны 0. Аналогично по  $y$ : вместо от  $-H$  до  $H$  подставить от  $-B$  до  $B$ .

Представим гармоническую функцию  $\varphi_3(x, y, z)$  в виде ряда Фурье:

$$\varphi_3(x, y, z) = \sum_{i=1}^{\infty} [A_{oi} c_i(y) + B_{oi} S_i(y)] e_i(z) +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} [A_{ki} c_i(x) c_i(y) + B_{ki} c_i(x) S_i(y)] e(z) +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} [c_{ko} S_k(x) + D_{ko} c_k(x)] e_k(z) +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} [c_{ki} c_i(y) S_k(x) + D_{ki} S_i(y) S_k(x)] e_k z. \quad (7)$$

где

$$e_i(z) = \exp\left(-\frac{i\pi}{H}\right) z$$

$$e(z) = \exp\left(-\pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}}\right) z$$

$$e_k(z) = \exp\left(-\frac{k\pi}{z}\right) z. \quad (8)$$

Коэффициенты ряда функции  $\varphi_3(x, y)$  находятся с учетом условия

$$\varphi_3(x, y, 0) = f(x, y) + c(P_{z_0} + P_w) \quad (9)$$

Функция  $f(x, y)$  определяется из уравнений (5) и (6). Остается найти  $\varphi_3(x, y, 0)$  и  $P_{z_0}$ . Для этого  $P_{z_0}$  надо выразить через  $\varphi_3(x, y, 0)$ , используя уравнение объемной деформации  $\theta_0$  при  $z = 0$ .

Давление контакта определим по формуле

$$P_{z_0} = \lambda \theta_0 + 2\mu \left( \frac{\delta U_3}{\delta z} \right),$$

где  $\theta_0$  – объемная деформация.

Из трёх функций  $\varphi_i$  положим  $\varphi_2$ , поскольку перемещения частиц грунта в направлении оси  $y$  на поверхности, ввиду их малости, пренебрегаем. Оставшихся двух функций достаточно, чтобы удовлетворить остальные краевые условия. Перемещения частиц почвы в контакте с пневматическим колесом по оси  $ox$  связаны с перемещением по оси  $oz$  уравнением  $\varphi_1(x, y, z) = \beta \varphi_3(x, y, z)$ , где  $\beta$  – коэффициент пропорциональности, который определяется из условия (4). Касательные усилия на поверхности выражаются в интегральной форме, а не в каждой точке, поэтому такое представление функции  $\varphi_1$  является обоснованным.

После всех преобразований получим:

$$\theta_0 = (1 + A) \left[ \beta \left( \frac{\delta u_3}{\delta x} \right)_0 + \left( \frac{\delta \varphi_3}{\delta z} \right)_0 \right];$$

$$P_{z_0} = \left( \frac{\delta \varphi_3}{\delta x} \right)_0 \beta m + \left( \frac{\delta \varphi_3}{\delta z} \right)_0 n, \quad (10)$$

где  $m = \lambda(1 + A) + 2\mu A$ ;  $n = (1 + A)(\lambda + 2\mu)$ ;  
 $A = -\frac{k+1}{k+3}$ ;  $\lambda, \mu$  – коэффициенты Ляме.

$$\varphi_3(x, y, 0) = f(x, y) + \left( \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} \right)_0 \beta m c +$$

$$+ \left( \frac{\partial \varphi_3}{\partial z} \right)_0 n c + c P_w. \quad (11)$$

Значения подставим в условие (4).



Введем обозначение:  $M = \frac{a_{00}}{4} + cP_w$ , где  $a_{00}$  – первый член ряда функции  $f(x, y)$ . Сделано это с целью учета влияния  $P_w$ , а также для изменения величины  $M$  по глубине. Разложим постоянную в ряд.

$$M = \frac{\delta_{00}}{4} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} [\delta_{0i} c_i(y) + \sum_{k=1}^{\infty} \delta_{k0} c_k(x) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \gamma_{0i} S_i(y) + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} [\delta_{ki} c_k(x) c_i(y) + \gamma_{ki} S_i(y) C_k(x)] + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \epsilon_{k0} S_k(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \epsilon_{ki} c_i(y) S_k(x) + \mu_{ki} S_i(y) S_k(x).$$

После всех преобразований найдем давление в контакте колеса с опорной поверхностью  $P_{z_0}$ . Вертикальная нагрузка  $G$  определяется из условия  $G = \iint P_{z_0} dF$ . Площадь пятна контакта разбивается на прямоугольники с площадями  $\Delta F_k$ , давление в центре каждого определяется как

$$G = \sum_{k=1}^m (P_{z_0})_k (\Delta F)_k,$$

где  $m$  – число прямоугольников.

Момент сопротивления качению колеса определяется по формуле

$$M_f = \sum_{k=1}^m x_k (P_{z_0})_k (\Delta F)_k.$$

Полученное решение позволяет оценивать влияние  $P_w$  на величину момента сопротивления качению  $M_f$ , глубину колеи  $h$ , величину и характер распределения давления в контакте  $P_{z_0}$ , а также на форму поверхности контакта пневматического колеса с почвой.

**Заключение.** В общем случае грунт является анизотропным, многослойным, вязко-упруго-пластичным телом. Учет названных свойств делает математическую модель более адекватной, но при этом решение задачи значительно усложняется. В различных условиях свойства грунта проявляются по-разному. При расчете напряженного состояния грунтового массива, являющегося основанием фундамента строительного сооружения при длительном воздействии больших величин статических нагрузок, грунт проявляет такие свойства, как пластичность, ползучесть. При кратковременном действии небольших по величине нагрузок грунт ярче проявляет упругие свойства. Именно такой режим нагружения характерен для процесса взаимодействия ходовых систем транспортных средств с грунтовым основанием, когда глубина распространения напряжений невелика. В этом случае грунтовое основание можно считать упругим изотропным полупространством. В результате проведенных исследований получено решение, позволяющее определять величину и характер распределения напряжений, а также момент сопротивления качению колеса и его зависимость от свойств взаимодействующих тел.

### Литература

- Орнатский Н. В. Механика грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1962. 435 с.
- Гуськов В. В. Тракторы. Часть II. Теория. Минск: Вышэйшая школа, 1977. 384 с.
- Кацыгин В. В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий // Вопросы земледельческой механики. 1975. Т. 8. С. 3–142.
- Бабков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механика грунтов. М.: Высшая школа, 1976. 325 с.
- Золотаревская Д. И. Зависимость между сжимающими напряжениями и осадкой почв // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. № 2. С. 30–32.
- Взаимодействие ходовых систем тракторов с почвой. В. В. Кацыгин [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 1. С. 18–19.
- Ксеневич И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.
- Скойбеда А. Т. Автоматизация ходовых систем колесных машин. Минск: Наука и техника, 1979. 277 с.
- Филоненко-Бородич М. М. Теория упругости. М.; Л.: ОГИЗ, 1947. 295 с.
- Романовский П. И. Ряды Фурье. М.: Наука, 1973. 334 с.
- Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: МГУ, 1968. Ч. 1. 436 с.
- Рабочев И. С., Камнев В. И., Маслов А. С. Уменьшение отрицательного воздействия мобильных агрегатов на почву // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 4. С. 90–94.
- Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву. 1981. С. 56–61.

14. Омелянов А. Е. О применении пневматических колес на сельхозмашинах // Сельхозмашина. 1948. № 5. С. 15–18.

15. Алексейчик Н. А., Будько Ю. В., Терехов Б. А. Повышение проходимости сельскохозяйственных машин. Минск: Урожай, 1979. 139 с.

### References

1. Ornatskiy N. V. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow, MGU Publ., 1962. 435 p.
2. Guskov V. V. *Traktory. Chast' II. Teoriya* [Tractors. Part II. Theory]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1977. 384 p.
3. Katsygin V. V. Fundamentals of the theory of choosing the optimal parameters of mobile agricultural machinery and implements. *Voprosy zemledel'cheskoy mekhaniki* [Agricultural mechanics issues], 1975, vol. 8, pp. 3–142 (In Russian).
4. Babkov V. F., Bezruk V. M. *Osnovy gruntovedeniya i mekhanika gruntov* [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976. 325 p.
5. Zolotarevskaya D. I. The relationship between compressive stresses and soil sediment. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Agricultural mechanization and electrification], 1980, no. 2, pp. 30–32 (In Russian).
6. Katsygin V. V., Orda A. I., Afanas'yev N. I. The interaction of tractor driving systems with soil. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Agricultural mechanization and electrification], 1983, no. 1, pp. 18–19 (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. Skoybeda A. T. *Avtomatizatsiya khodovykh sistem kolesnykh mashin* [Automation of undercarriage systems for wheeled vehicles]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 277 p.
9. Filonenko-Borodich M. M. *Teoriya uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow; Leningrad, OGIz Publ., 1947. 295 p.
10. Romanovskiy P. I. *Ryady Fur'ye* [Fourier Series]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 334 p.
11. Sedov L. I. *Mekhanika sploshnoy sredy. Chast' I* [Continuum mechanics. Part 1]. Moscow, MGU Publ., 1968. 436 p.
12. Rabochev I. S., Kamnev V. I., Maslov A. 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).
13. Gaponenko V. S. On ways to reduce the sealing effect of machine-tractor aggregates on the soil. *Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu* [Influence of agricultural machinery on soil], 1981, pp. 56–61 (In Russian).
14. Omel'yanov A. Ye. On the use of pneumatic wheels on agricultural machines. *Sel'khoz mashina* [Agricultural machinery], 1948, no. 5, pp. 15–18 (In Russian).
15. Alekseychik N. A., Budko Yu. V., Terekhov B. A. *Povysheniye prokhdimosti sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Raising the passability of agricultural machines]. Minsk, Urozhay Publ., 1979. 139 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

**Насковец Михаил Трофимович** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

**Жарков Николай Иванович** – кандидат технических наук, ведущий инженер кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zharkov@belstu.by

**Гиль Виталий Иванович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.gil@belstu.by

**Information about the authors**

**Kim Yuriy Alekseyevich** – 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

**Naskovets Mikhail Trofimovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

**Zharkov Nikolay Ivanovich** – PhD (Engineering), Leading Engineer, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zharkov@belstu.by

**Gil Vitaliy Ivanovich** – PhD (Engineering), Senior Lecture, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.gil@belstu.by

*Поступила 15.10.2019*

УДК 625.76

**М. Т. Насковец, С. П. Мохов, С. А. Голякевич,  
Н. И. Жарков, Д. А. Кононович**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

В статье рассмотрен процесс экспериментальных исследований по определению эксплуатационных характеристик противогололедных составов на химической основе хлорида кальция. В процессе исследований определен гранулометрический состав базового фрикционного сырья, в качестве которого использован карбонат кальция. С помощью барабана Деваля оценена стойкость базового сырья в виде гранул карбоната кальция к истиранию. Исследования проводились в климатической камере с возможностью постоянного поддержания отрицательных температур для диапазона  $-(5-15)^{\circ}\text{C}$ . Концентрация хлоридов кальция в исходном сырье варьировалась в диапазоне 10–15%. В качестве лабораторного оборудования использовался барабан Деваля с шарами 50–57 мм и массой 430–445 гр; климатическая камера «Термокон ТХВ-225»; весы лабораторные; чашки Петри; ступка фарфоровая и др. По результатам исследований даны рекомендации по разработке комбинированных химико-фрикционных составов для зимнего содержания лесных автомобильных дорог и заключение о возможности использования карбонатов кальция в качестве фрикционной основы таких составов.

**Ключевые слова:** противогололедный состав, эксперимент, фракция, истираемость, обледенение, реакция, таяние, дорога, безопасность.

**M. T. Naskovets, S. P. Mokhov, S. A. Golyakevich,  
N. I. Zharkov, D. A. Kononovich**  
Belarusian State Technological University

### **EXPERIMENTAL RESEARCH OF COMBINED ANTI-ICE COMPOSITION FOR WINTER CONTENT FOREST ROADS**

The article discusses the process of experimental research to determine the operational characteristics of anti-icing compositions based on calcium chloride. In the process of research, the particle size distribution of the base friction raw material, in which calcium carbonate was used, was determined. It is believed that the calcium content of calcium for abrasion is low. The studies were carried out in a climatic chamber with the possibility of constant determination of the temperature range  $-(5-15)^{\circ}\text{C}$ . The concentration of calcium chlorides in the feedstock varied in the range of 10–15%. The Deval drum with balls of 50–57 mm and a mass of 430–445 g was used as laboratory equipment; climatic chamber "Thermocon TXV-225"; laboratory balance; petri dishes; porcelain mortar and others. Based on the research results, recommendations are given on the development of combined chemical-friction compositions for the winter maintenance of forest roads and a conclusion on the possibility of using calcium carbonates as a friction base for such compositions.

**Key words:** anti-icing composition, experiment, fraction, abrasion, icing, reaction, melting, road, safety.

**Введение.** В последние годы участились случаи дорожно-транспортных происшествий с участием сортиментовозных автопоездов. В ряде случаев они произошли в зимний период, а их причиной стала потеря управляемости машин ввиду низких сцепных свойств шин с дорогой.

Возникновение на дорожных покрытиях снежно-ледяных отложений в зимний период является неизбежным природным явлением, которое может наблюдаться в течение 2–4 месяцев. Помимо возникновения ДТП на дорогах со скользким покрытием снижаются скорости движения машин и производительность транспортных

средств. Добиться улучшения транспортно-эксплуатационного состояния лесных автомобильных дорог в настоящее время можно двумя методами: предварительной обработкой покрытий антигололедными средствами, предотвращающими образование снежно-ледяных отложений, и (или) повышением сцепных качеств образовавшихся на проезжей части дорожных одежд снежно-ледяных отложений за счет создания шероховатой поверхности фрикционными или комбинированными противогололедными средствами. Анализу противогололедных свойств комбинированных средств посвящена данная статья.

**Основная часть.** Для приготовления противогололедных материалов применяют:

- пески с модулем крупности, определяемым по ГОСТ 8735, обеспечивающие требования табл. 1 (для фрикционных противогололедных материалов – не менее 1,5; для химико-фрикционных – не менее 1,1);
- натрий хлористый по ГОСТ13830 и [1–4];
- кальций хлористый по ГОСТ450 и [5];
- рапу по [6];
- ингибиторы коррозии (фосфаты) по ГОСТ 201 и ГОСТ 23999;
- антислеживатель по [7];
- воду по СТБ 1114.

Также допускается применение других взаимозаменяемых материалов, предусмотренных технологическим регламентом, разрешенных к применению в установленном порядке и обеспечивающих соответствие противогололедного материала требованиям стандартов. На конкретный противогололедный материал могут быть приведены дополнительные показатели, отражающие его потребительские свойства.

К противогололедным материалам также предъявляются требования безопасности и охраны окружающей среды, которые, как правило, являются следствием требований, предъявляемых к их компонентам [8–10].

Каждую партию твердого химико-фрикционного противогололедного материала подвергают приемосдаточным испытаниям по следующим показателям:

- внешнему виду;
- содержанию зерен противогололедного материала;
- содержанию водорастворимых веществ;
- содержанию пылевидных и глинистых частиц;
- плавящей способности.

На кафедре лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета проведены экспериментальные исследования нового комбинированного противогололедного состава.

При проведении исследований использованы следующие средства:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104 с погрешностью взвешивания  $\pm 0,05$  г (рис. 1, а);
- камера морозильная, обеспечивающая поддержание температуры до минус  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  по ГОСТ 26678;
- вода дистиллированная по ГОСТ 6709;
- чашки Петри диаметром 95 мм по ГОСТ 25336 в количестве 15 шт. (рис. 1, б);
- бумага фильтрованная по ГОСТ 12026;
- ступка с пестиком фарфоровая по ГОСТ 9147.



Рис. 1. Весы лабораторные (а) и чашка Петри (б)

Аналитическая проба химико-фрикционного противогололедного материала массой более 100 г была высушена до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  и растерта в ступке (рис. 2). Крупные частицы соли (гранулированный хлорид кальция) измельчены. Из подготовленной пробы отобраны три навески, которые термостатированы в морозильной камере при температуре  $(-5 \pm 2)^\circ\text{C}$  более 1 ч.



Рис. 2. Приготовление химико-фрикционного противогололедного материала

Масса навески рассчитывалась исходя из содержания химического реагента в испытываемом противогололедном материале ( $m_0 = (1,50 \pm 0,01)$  г соли на чашку Петри диаметром 95 мм).

В чашки Петри налита дистиллированная вода, по  $(40 \pm 0,1)$  г (рис. 3) в каждую, и они помещены в морозильную камеру при температуре  $(-5 \pm 2)^\circ\text{C}$  не менее чем на 2 ч. После образования льда определены массы чашек со льдом  $m_1$ .

В чашках по поверхности льда распределены равномерным слоем навески противогололедного материала. Образцы выдержаны при температуре  $(-5 \pm 0,1)^\circ\text{C}$  в течение 1 ч (рис. 4).

По истечении указанного времени за 30 с слита образовавшаяся жидкость. При ее наличии ледяная кашка снималась вместе с фрикционным материалом мягкой кистью. Каждая из чашек  $m_2$  с остатками льда взвешена (рис. 5).



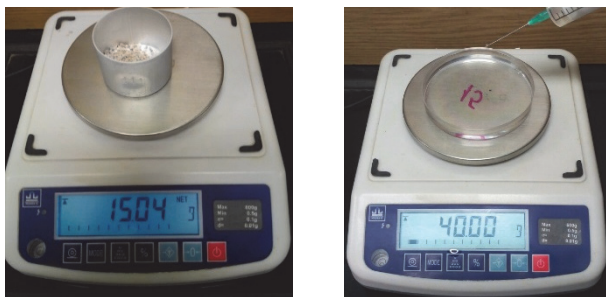


Рис. 3. Взвешивание противогололедного материала и дистиллированной воды

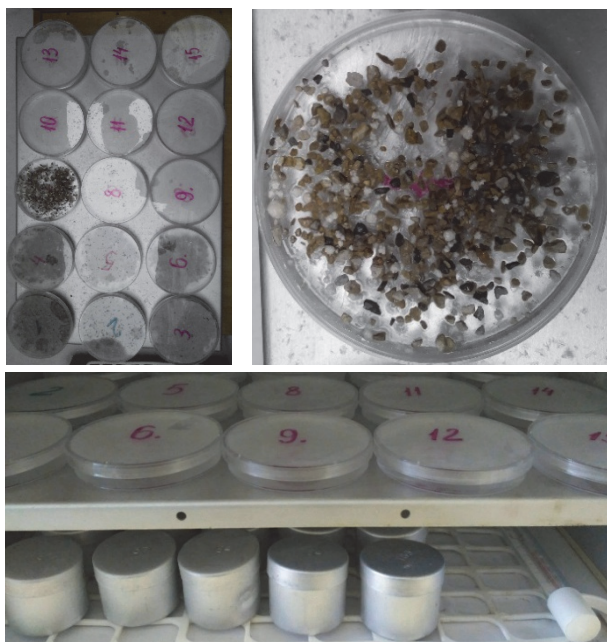


Рис. 4. Распределение противогололедного материала по поверхности льда в чашке Петри



Рис. 5. Слив образовавшейся суспензии и взвешивание остатков

Слитая из каждой чашки суспензия отфильтрована. Фильтры  $m_{\text{ф}}$  предварительно взвешены. Остатки на фильтрах промыты водой для вымывания соли и помещены вместе с фильтрами в сушильный шкаф при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  для высушивания до постоянной массы. Полученный сухой остаток взвешен вместе с фильтром  $m_3$  и определена разница масс  $m_4$  (г) до и после высушивания по формуле  $m_4 = m_3 - m_{\text{ф}}$ .

Плавящая способность  $q$  химических противогололедных материалов определена по формулам согласно СТБ 1158-2008 и приведена в табл. 1. За результат испытания принято среднеарифметическое значение трех определений.

Для обеспечения требований СТБ 1158-2013 необходимая концентрация хлорида кальция в противогололедной смеси должна составлять не менее 30%.

С целью уточнения эксплуатационных характеристик создаваемого противогололедного состава при его использовании в условиях более низких температур (табл. 2) были проведены дополнительные исследования, в которых для поддержания постоянной отрицательной температуры использовалась лабораторная климатическая камера «Термоконт ТХВ-225» (рис. 6).



Рис. 6. Лабораторная климатическая камера «Термоконт ТХВ-225»

Методика проведения исследований аналогична рассмотренной выше, однако оценка плавильной способности противогололедного состава проводилась при концентрации хлорида кальция, равной 10, 20 и 30% при температурах:  $-5$ ,  $-7,5$ ,  $-10$  и  $-15^\circ\text{C}$ .

Данные экспериментальных исследований свидетельствуют о значительной нелинейности изменения плавильной способности противогололедной смеси с изменением концентрации хлорида кальция в ней и изменении отрицательной температуры. Графические данные приведены на рис. 7 и 8.

Анализ показывает, что значительное нелинейное снижение плавящей способности противогололедного состава при уменьшении концентрации хлорида кальция зачастую обусловлено спецификой гранулометрического состава фрикционной составляющей. При концентрации хлорида кальция около 10% выявлены случаи неполного вступления в реакцию реагента по причине его «зависания» на фрикционной составляющей противогололедного состава (рис. 7).



Таблица 1

## Результаты исследований противогололедных материалов различной концентрации

Содержание реагента, %	№ бюксы	Масса бюксы	Масса навески	Масса реагента, $m_0$ , г	№ чашки	Масса чашки (пустой), г	Масса чашки с водой	Масса чашки со льдом и реагентом, г	Масса чашки с остатками льда, г	Расчетная масса, г	$q$
10	111	22,13	37,17	15,04	1	7,76	47,84	62,88	60,89	1,99	1,33
	131	21,04	36,03	14,99	2	6,82	46,84	61,83	59,8	2,03	1,35
	132	20,36	35,37	15,01	3	7,35	47,35	62,36	60,34	2,02	1,35
15	133	21,11	31,11	10,00	4	6,83	46,83	56,83	54,69	2,14	1,43
	134	21,53	31,53	10,00	5	7,34	47,34	57,34	55,24	2,1	1,40
	137	21,02	31,02	10,00	6	7,73	47,76	57,76	55,57	2,19	1,46
20	140	21,31	28,82	7,51	7	6,89	46,92	54,43	51,84	2,59	1,73
	142	21,07	28,58	7,51	8	7,34	47,34	54,85	52,37	2,48	1,65
	154	21,47	28,98	7,51	9	6,82	46,82	54,33	51,83	2,5	1,67
25	157	21,81	27,81	6,00	10	7,73	47,74	53,74	49,64	4,1	2,73
	162	21,41	27,41	6,00	11	6,89	46,89	52,89	48,87	4,02	2,68
	164	21,24	27,25	6,00	12	7,34	47,34	53,34	49,4	3,95	2,63
30	165	21,34	26,34	5,00	13	6,82	46,82	51,82	43,96	7,86	5,24
	186	21,41	26,41	5,00	14	7,73	47,73	52,73	45,49	7,24	4,83
	189	21,78	26,78	5,00	15	6,88	46,88	51,88	44,28	7,6	5,07

Таблица 2

## Результаты исследований противогололедных материалов при различных температурах

Температура, °С	№ бюксы	Масса бюксы без крышки, г	Масса навески, г	Масса реагента, $m_0$ , г	№ чашки	Масса чашки (пустой), г	Масса чашки с водой, г	Масса чашки со льдом и реагентом, г	Масса чашки с остатками льда, г	Расчетная масса, г	$q$
-5	140	13,86	28,82	5,00	7	6,89	46,92	51,46	43,74	7,72	5,15
	142	13,76	28,58	5,00	8	7,34	47,34	52,14	44,28	7,86	5,24
	159	13,69	28,98	5,00	9	6,82	46,82	51,50	44,90	6,60	4,40
-7,5	168	13,89	27,81	5,00	10	7,73	47,74	52,33	47,58	4,75	3,16
	162	13,98	27,41	5,00	11	6,89	46,89	50,66	45,76	4,90	3,26
	1684	13,76	27,25	5,00	12	7,34	47,34	51,96	46,87	5,09	3,39
-10	111	13,8	37,17	5,00	1	7,76	47,84	52,2	48,07	4,13	2,75
	131	13,58	36,03	5,00	2	6,82	46,84	51,45	48,15	3,30	2,20
	132	13,39	35,37	5,00	3	7,35	47,35	52,04	48,18	3,86	2,57
-15	182	13,96	31,11	5,00	4	6,83	46,83	51,45	49,36	2,09	1,39
	154	13,83	31,53	5,00	5	7,34	47,34	51,88	49,45	2,43	1,62
	137	13,99	31,02	5,00	6	7,73	47,76	52,26	50,03	2,23	1,49

Для оценки эксплуатационной эффективности фрикционной составляющей противогололедного материала проведено уточнение гранулометрического состава материала. Для осуществления анализа физико-механических свойств материала уточнили гранулометрический состав материала для фракций 1,5–3,0 мм и 3,0–5,0 мм. Анализ производился с предварительной промывкой материала водой и определением содержания пылевидных и глинистых частиц [11–14]. Результаты испытаний представлены в табл. 3 и табл. 4.

Средства контроля и вспомогательного оборудования:

- весы настольные по ГОСТ 29329;
- шкаф сушильный;
- сита с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции.

Для испытаний использовались лабораторные пробы массой  $m = 1,0$  кг. Проба материала помещалась в заранее взвешенную цилиндрическую емкость, смачивалась водой и взмучивалась.



Рис. 7. Зерна реагента, не вступившие в реакцию через 1 ч нахождения состава в камере при концентрации реагента 10%

Вода с неосевшими частицами слита сквозь сито с отверстиями диаметром 0,1 мм. Взмучивание и сливание производится до полного осветления. Частицы материала, оставшиеся на сите, смыты обратно в цилиндрическую емкость. Промытая проба высушена в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния. Затем произведено взвешивание и определение содержания пылевидных частиц.

Работа фрикционной составляющей противогололедного материала неразрывно связана с

его сопротивлением истираемости, что потребовало дополнительных экспериментальных исследований.

Взвешенная проба материала помещалась на верхнее сито и просеивалась через набор сит. После чего определялась масса каждой фракции.



Рис. 8. Определение гранулометрического состава

Истираемость – уменьшение массы или объема образца (пробы) материала под воздействием истирающих усилий. Для определения прочности материала на истирание использовался барабан Деваля (рис. 9) [15].

Для испытания отобрана проба материала массой 5 кг. Материал предварительно промыт и высушен до постоянной массы.

Подготовленная проба загружена в цилиндр вместе с шестью стальными шарами диаметром 50–57 мм и массой 430–445 г. каждый.

Таблица 3

#### Результаты испытания материала гранулометрического состава 1,5–3,0 мм

Наименование показателя	Диаметр отверстия сита, мм					
	7	5	3	2	1	Поддон
	Размер фракции материала					
	>7	7–5	5–3	3–2	2–1	<1
Масса тары, г	–	79,55	326,7	96,32	104,28	113,73
Масса тары с материалом, г	–	100,85	996,83	282,65	193,18	115,22
Масса грунта, г	–	21,30	670,13	186,33	88,90	1,49
Содержание фракции, %	–	2,20	69,22	19,24	9,18	0,16

Таблица 4

#### Результаты испытания материала гранулометрического состава 3–5 мм

Наименование показателя	Диаметр отверстия сита, мм					
	7	5	3	2	1	Поддон
	Размер фракции материала					
	>7	7–5	5–3	3–2	2–1	<1
Масса тары, г	91,44	79,54	104,54	96,33	104,21	113,64
Масса тары с материалом, г	92,88	641,5	515,14	98,11	104,72	114,90
Масса грунта, г	1,44	561,98	410,60	1,84	0,51	1,31
Содержание фракции, %	0,15	57,48	42,00	0,19	0,05	0,13



Рис. 9. Общий вид барабана Девалья

Цилиндр закрывается крышкой и приводится во вращение. Он должен совершить 10 000 оборотов. Исследуемый материал выгружают в отдельную емкость, а затем просеивают через сито с отверстиями 2 мм и промывают водой. Остаток на сите высушивается до постоянной массы и взвешивается с точностью до 10 г.

Истираемость материала  $H$ , %, вычисляется по формуле

$$H = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100,$$

где  $m$  – масса пробы материала, г;  $m_1$  – масса материала после испытания, г.

Истираемость материала считается очень большой при потерях его массы свыше 8%, большой – 6–8%, малой 4–6% и очень малой 4%.

1. Скорость вращения и обработка  $n = 34$  об/мин

2. Для свершения 10 000 оборотов необходимо 4 ч 54 мин.

3. Масса материала с чашей – 6382 г.

4. Масса чаши – 1490 г.

5. Масса материала  $m = 4,890$  г.

После 10 000 оборотов цилиндра и просеивания материала через сито ячейкой 2 мм получены:

масса остатка материала

$$m_1 = 3760 \text{ г};$$

истираемость материала

$$H = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 = \frac{4890 - 3760}{4890} \cdot 100 = 23,11\%.$$

Согласно критериям материалы с величиной  $H$  больше 8% имеют высокую истираемость.

### Литература

1. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах / Г. В. Бялобжеский [и др.]. М.: Транспорт, 1975. 112 с.
2. Danielson U. Comment optimiser l'entretien des routes en hiver: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998. Vol. 1. P. 88–90.
3. Olander J. Winter Index by using RWI and MESAN: XI International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 28–31 January 2002. Sapporo, 2002. P. 105–108.

**Заключение.** Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что узкофракционированная крупа известняковых материалов, в частности доломитов с высоким содержанием  $\text{CaCO}_3$ , может рассматриваться в качестве составной части противогололедных составов для зимнего содержания автомобильных дорог. При этом следует провести ряд лабораторных исследований по определению истираемости данной узкофракционной крупы с получением данных об объемном либо массовом образовании пылеватых частиц, которые снижают сцепление колес с поверхностью движения.

В результате проведения научных исследований разработаны противогололедные составы и технологии их приготовления на основе узкофракционированной крупы известняковых материалов с учетом условий применения. Выполнены комплексные исследования технологических параметров и оптимизированы составы с учетом результатов испытаний. Проведен авторский контроль за изготовлением опытной партии.

В процессе исследований анализировались требования нормативно-правовых актов, регламентирующих использование противогололедных материалов, методики определения их плавающей способности, гранулометрического состава, истираемости и насыпной плотности исходного материала.

Установлено, что приемлемую плавающую способность исходный материал, основанный на узкофракционированной крупе известняковых материалов, обеспечивает лишь при 30%-ном содержании солей хлористого кальция. Истираемость материала повышена и составляет 23%. Материалы с такой истираемостью могут успешно применяться на пешеходных дорожках и дорогах с невысокой интенсивностью движения.

Установлен фракционный состав исходного материала, который имеет следующие показатели: частицы более 7 мм – менее 0,15%, 5–7 мм – 57,48%, 3–5 мм – 42,00%, до 3 мм суммарно не более 0,37%. Таким образом, данный узкофракционный состав по своему гранулометрическому составу может применяться как противогололедный материал без ограничений.

4. Васильев А. П., Ушаков В. В. Анализ современного зарубежного опыта зимнего содержания дорог и разработка предложений по его использованию в условиях России. М.: ФГУП «ИНФОРМ-АВТОДОР», 2003. 60 с.
5. Arkko Valtonen J., Mustonen J. How to reduce street dust in Spring: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998. Vol. 3. P. 112–113.
6. Laurihavicius A., Cygas D. Winter maintenance problems on the streets of Lithuanian cities. “X PIARC International Winter Road Congress”: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998. Vol. 3. P. 133–135.
7. Deshenes Daniel. Technological innovations supporting winter maintenance in Quebec: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998. Vol. 3. P. 62–64.
8. Dobosi T., Timar A., Toth S. Realisation des taches d'exploitation des routes publiques nationaux en hiver dans la forme de societe. “Mise en parallelede la pratique hongroise et celle de l'union Europeen” X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998. Vol. 1. P. 32–34.
9. Berichte Bast V. Оценка опасности применения противогололедных солей (Германия). 1995. № 21. С. 13–16.
10. Keranen P. F. Optimization of winter maintenance in the Minneapolis. “St. Paul Metropolitan area using performance targets”: XI International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 28–31 January 2002. Sapporo, 2002. P. 26–30.
11. Снег: справ. / под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мэйла. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 751 с.
12. Зимнее содержание автомобильных дорог / Г. В. Бялобжеский [и др.]. М.: Транспорт, 1983. 197 с.
13. Расников В.П. Зимнее содержание автомобильных магистралей // Автомобильные дороги: обзор. информ. / ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. М., 1985. Вып. 4. 24 с.
14. Максименко К. Д. Применение нагретых фрикционных материалов при зимнем содержании автомобильных дорог: автореф. дис... канд. техн. наук. СПб., 2005. С. 20.
15. Kaufmann D. W., Sodium Chloride. American Society. 1960. 140 p.

#### References

1. Byalobzheskiy G. V., Derbneva M. M., Mazopova V. I., Rudakov L. M. *Bor'ba s zimney skol'zkost'yu na avtomobil'nykh dorogakh* [Winter slippery on roads]. Moscow, Transport Publ., 1975. 112 p.
2. Danielson U. Comment optimizer l'entretien des routes en hiver: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998, vol. 1, pp. 88–90.
3. Olander J. Winter Index by using RWI and MESAN: XI International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 28–31 January 2002. Sapporo, 2002, pp. 105–108.
4. Vasil'yev A. P., Ushakov V. V. *Analiz sovremennogo zarubezhnogo opyta zimnego sodержaniya dorog i razrabotka predlozheniy po ego ispol'zovaniyu v usloviyakh Rossii* [Analysis of modern foreign experience in winter road maintenance and development of proposals for its use in Russia]. Moscow, INFORMAVTODOR Publ., 2003. 60 p.
5. Arkko Valtonen J., Mustonen J. How to reduce street dust in Spring: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998, vol. 3, pp. 112–113.
6. Laurihavicius A., Cygas D. Winter maintenance problems on the streets of Lithuanian cities: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998, vol. 3, pp. 133–135.
7. Deshenes Daniel. Technological innovations supporting winter maintenance in Quebec: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998, vol. 3, pp. 62–64.
8. Dobosi T., Timar A., Toth S. Realisation des taches d'exploitation des routes publiques nationaux en hiver dans la forme de societe. Mise en parallelede la pratique hongroise et celle de l'union Europeen: X PIARC International Winter Road Congress: Technical Report, Lulea, Sweden, 16–19 march 1998. Lulea, 1998, vol. 1, pp. 32–34.
9. Berichte Bast V. *Otsenka opasnosti primeneniya protivogolelednykh soley (Germaniya)* [Hazard assessment of deicing salts (Germany)], 1995, no. 21, pp. 13–16.
10. Keranen P. F., Optimization of winter maintenance in the Minneapolis. St. Paul Metropolitan area using performance targets: XI International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 28–31 January 2002. Sapporo, 2002, pp. 26–30.
11. *Sneg* [Snow]. Ed. by D. M. Grey, D. Kh. Meyl. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 751 p.

12. Byalobzheskiy G. V., Dyunin A. K., Plaksa L. N., Rudakov L. M., Utkin B. V. *Zimneye sodержaniye avtomobil'nykh dorog* [Winter road maintenance]. Moscow, Transport Publ., 1983. 197 p.

13. Rasnikov V. P. Winter road maintenance. *Avtomobil'nyye dorogi* [Car roads]. Moscow, issue 4, 1985. 24 p.

14. Maksimenko K. D. *Primeneniye nagretykh friktsionnykh materialov pri zimnem sodержanii avtomobil'nykh dorog. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [The use of heated friction materials in the winter maintenance of roads. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. SPb., 2005. 20 p.

15. Kaufmann D.W., Sodium Chloride. American Society. 1960. 140 p.

### Информация об авторе

**Голякевич Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

**Жарков Николай Иванович** – кандидат технических наук, ведущий инженер кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь) E-mail: zharkov@belstu.by

**Кононович Денис Александрович** – ассистент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: denkon\_92@mail.ru

**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

**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

**Zharkov Nikolay Ivanovich** – PhD (Engineering), Leading Engineer, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zharkov@belstu.by

**Kononovich Denis Aleksandrovich** – assistant lecturer, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: denkon\_92@mail.ru

**Mokhov Sergey Petrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

**Naskovets Mikhail Trofimovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Поступила 27.09.2019

# ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

УДК 674.812–41:674.213(043.3)

**С. В. Шетько, Л. В. Игнатович, С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков**  
Белорусский государственный технологический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УПЛОТНЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ОЛЬХИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ

В Беларуси ценные твердолиственные породы древесины составляют примерно 4% от основного лесного фонда, в то же время доля малоценных древесных материалов составляет примерно 30%, в том числе ольха – 8%. В Республике Беларусь, при общей заготовке древесины около 19 млн. м<sup>3</sup> в год, для производства столярно-строительных изделий и мебели ценных твердолиственных пород не хватает. Сказанное предопределяет целесообразность снижения доли использования древесины твердолиственных пород в производстве столярно-строительных изделий и мебели за счет замещения их малоценными породами, в частности древесиной ольхи.

Целью настоящей работы является исследование влияния степени уплотнения древесины мягколиственных пород (ольхи) при имитационной отделке столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели на макро- и микроскопические изменения ее структуры, а также химических изменений уплотненной древесины ольхи методом высокотемпературного термогравиметрического анализа (ТГА). Результаты исследований показывают, что при термоуплотнении древесины ольхи происходит качественное изменение в структуре основных компонентов древесины.

**Ключевые слова:** уплотненная древесина ольхи, химические изменения, термогравиметрический анализ, макро- и микроскопические исследования.

**S. V. Shet'ko, L. V. Ignatovich, S. A. Prokhorchik, A. S. Chuikov**  
Belarusian State Technological University

## RESEARCH OF FEATURES OF STRUCTURAL CHANGES COMPACTED ALDER WOOD FOR THE PRODUCTION OF JOINT-AND-CONSTRUCTION PRODUCTS AND CONSTRUCTION ELEMENTS OF FURNITURE

In Belarus, valuable hardwood species account for approximately 4% of the main forest-forming species, while the share of low-value species is approximately 30%, including alder – 8%. In the Republic of Belarus, with a total timber harvest of about 19 million m<sup>3</sup> per year, it is not enough for the production of furniture and joinery products, especially valuable hardwood. The aforesaid predetermines the desirability of reducing the share of the use of hardwood in the production of joinery and furniture by replacing them with low-value species, in particular alder wood.

The aim of this work is to study the effect of the degree of compaction of softwood (alder) wood during the simulation of carpentry-building products and structural elements of furniture on macro- and microscopic changes in its structure, as well as chemical changes in compacted alder wood by high-temperature thermogravimetric analysis (TGA). The research results show that during thermal compaction of alder wood, a qualitative change in the structure of the main components of wood occurs.

**Key words:** compacted alder wood, chemical changes, thermogravimetric analysis, macro and microscopic studies.

**Введение.** В настоящее время основной задачей лесной и деревоперерабатывающей промышленности является рациональное использование лесосырьевых ресурсов и производство

экологически безопасной и конкурентоспособной продукции.

В Республике Беларусь ценные твердолиственные породы составляют примерно 4% от основных



лесообразующих пород, в то же время доля малоценных составляет примерно 30%, в том числе: береза – 17%, ольха – 8%, тополь и осина – 5%. При общей заготовке древесины около 19 млн. м<sup>3</sup> в год для производства мебели и столярно-строительных изделий ценных твердолиственных пород не хватает. Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [1], объем выпуска столярно-строительных изделий (двери, окна, напольные покрытия, погонаж и др.) в денежном эквиваленте составляет 1 млрд долл. США, а крупнейшими деревообрабатывающими предприятиями, занятыми выпуском подобной продукции, являются: ООО «Стройдеталь», ОАО «Минскдрев», ООО «Лоза», ИП «Косвик», ОАО «Гомельдрев» и др.

Объем выпуска мебели составляет примерно 34% от общего объема производства деревообрабатывающей продукции. В настоящее время этот вид продукции выпускают предприятия концерна «Беллесбумпром» и примерно 600 предприятий вневедомственной подчиненности. Всего изделий мебели производится на сумму, близкую к 1 млрд долл. США.

Таким образом, снижение доли использования древесины твердолиственных пород в производстве столярно-строительных изделий и мебели за счет замещения их малоценными породами, использование которых не нашло широкого применения в связи со сравнительно низкими физико-механическими и эксплуатационными показателями, позволит снизить себестоимость продукции при сохранении прочностных характеристик и требуемого уровня качества изделий из древесины.

**Основная часть.** Целью настоящей работы является исследование влияния степени уплотнения древесины мягколиственных пород (ольхи) при имитационной отделке столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели на макро- и микроскопические изменения ее структуры, а также химических изменений уплотненной древесины ольхи методом высокотемпературного термогравиметрического анализа [2] с использованием термоаналитической системы TGA/DSC-1 HT/319 METTLER TOLEDO Instruments.

При проведении исследований на макро- и микроскопические изменения уплотненной древесины ольхи и для оценки химических изменений методом высокотемпературного термогравиметрического анализа, происходящих в древесине в процессе уплотнения, были взяты образцы, подготовленные в производственных условиях, согласно ТУ РБ 100354659.119–2018 [3].

Для обеспечения высокой производительности и сокращения энергоемкости процесса проводилось прессование заготовок на оборудовании

проходного типа действия, оснащенного валом-клише (диаметр 200 мм). Заготовки имели толщину 17 мм, влажность  $(10 \pm 2)\%$ , плотность  $(520 \pm 5)$  кг/м<sup>3</sup>. Образцы из древесины ольхи проходили обработку по следующему режиму [3–6]: температура нагрева вала открытым пламенем – 160–180°C, давление – 2,0–4,0 МПа, а скорость подачи находилась в диапазоне 3–4 м/мин. После уплотнения плотность древесины ольхи составила 760 кг/м<sup>3</sup>.

Для оценки химических изменений в уплотненной древесине использовали метод высокотемпературного термогравиметрического анализа. Предварительно были подготовлены две навески стружки из натуральной и уплотненной древесины ольхи массой по  $(10 \pm 1)$  мг каждая. Стружку для исследования получали за счет среза тонких пластинок древесины с заготовок скальпелем и последующего их измельчения до необходимой величины. Объем и масса исследуемого материала определялись в соответствии с объемом применяемого тигля. Заполненный тигль помещали на термовесы и далее регистрировали скорость изменения массы.

Термогравиметрия (ТГ) – метод термического анализа, при котором регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры [7]. Экспериментально получаемая кривая зависимости изменения массы от температуры (называемая термогравиметрической кривой или термограммой) позволяет судить о термостабильности и составе образца в начальном состоянии, о термостабильности и составе веществ, образующихся на промежуточных стадиях процесса, а также о составе остатка, если такой имеется [8].

Исследования проводили в интервале температур 25–500°C при скорости нагрева 5°C/мин. Изменение массы древесной навески в зависимости от температуры и времени нагрева, а также температуры печи изображали графически в виде термогравиметрической кривой.

Результаты исследования представлены на рис. 1, 2. Термоаналитические кривые, полученные при динамическом нагреве образцов и термической деструкции, показывают наличие на них ряда тепловых эффектов, указывающих на высокую тепловую активность компонентов древесины. В интервале температур 25–200°C на термограммах двух образцов наблюдается незначительная потеря массы, обусловленная испарением физической (связанной) и химической влаги. По достижении температурного интервала 200–340°C в образцах начинается активная стадия пиролиза целлюлозы с возрастающей скоростью потери массы, которая к концу третьего температурного интервала по достижении температуры 310°C для образцов натуральной и уплотненной древесины составила 71 и 72% соответственно.

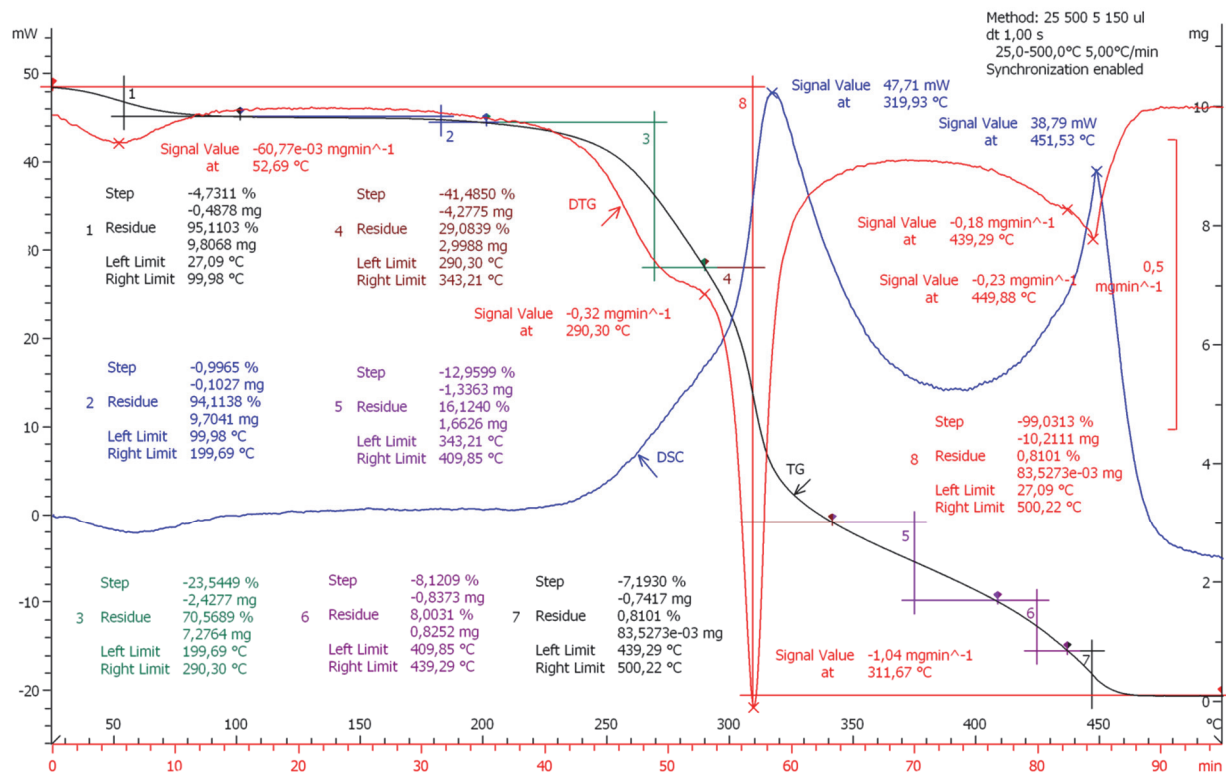


Рис. 1. Термоаналитические кривые натуральной древесины ольхи

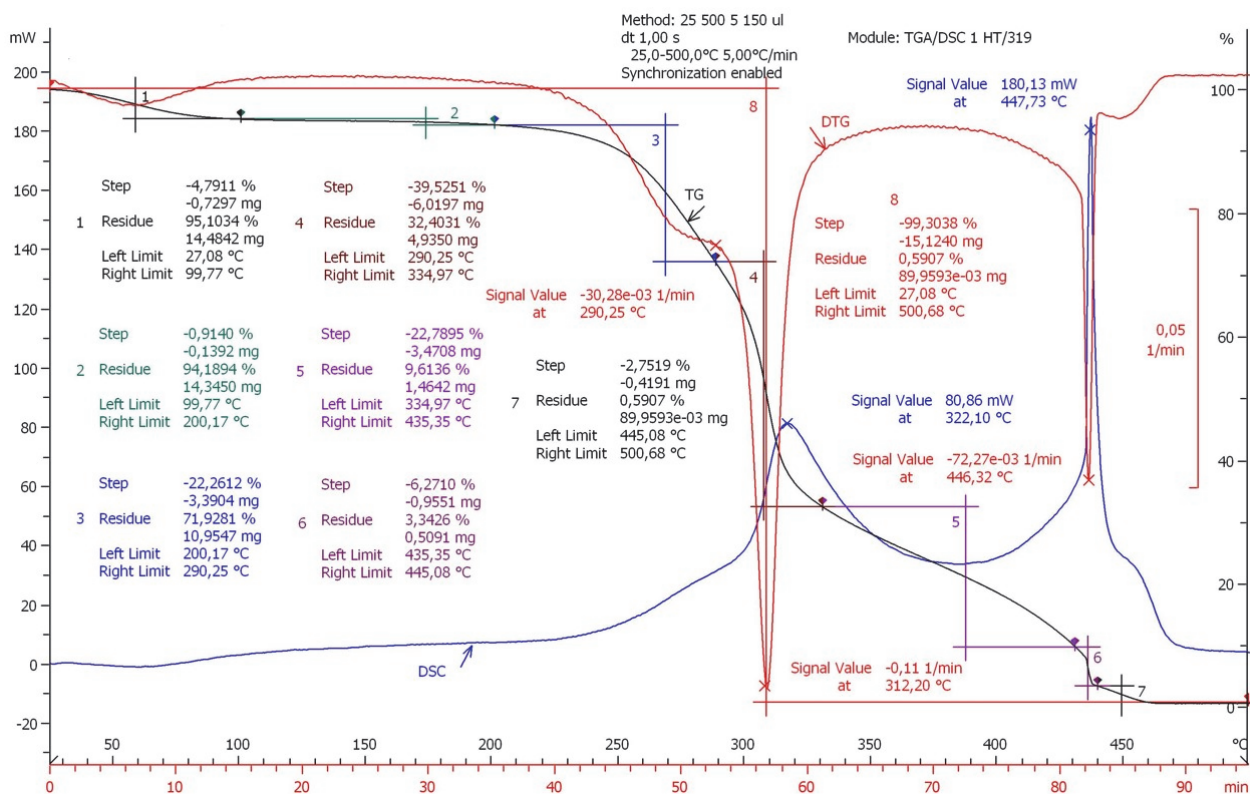


Рис. 2. Термоаналитические кривые уплотненной древесины ольхи

При дальнейшем увеличении температуры до 450°C наблюдается еще один пик увеличения скорости потери массы, что можно объяснить пиролизом лигнина.

Суммарная потеря массы по достижении 500°C для образцов натуральной и уплотненной ольхи составила 99,03 и 99,1% соответственно.



Рис. 3. Образец натуральной древесины ольхи



Рис. 4. Образец уплотненной древесины ольхи

Из приведенных зависимостей следует, что термическое разложение натуральной и уплотненной древесины ольхи проходит в различное количество этапов. Для модифицированной древесины количество этапов термического разложения лигнина сокращается за счет количественных изменений химических связей в нем в процессе термомеханической обработки. В температурном интервале 343–425°C происходит снижение массы на 18,9%, что свидетельствует о непрерывном термическом разложении лигнина [9] и преобладании в его структуре  $\alpha$ -5 связей.

При сравнении полученных экспериментальным методом термоаналитических кривых древесины ольхи до уплотнения и после уплотнения существенных отличий выявлено не было. Результаты проведенного исследования подтверждают то, что изменение свойств древесины происходит под действием внешних факторов, и позволяют утверждать, что в основе взаимодействия компонентов древесины лежат химические реакции первичной конденсации лигнина, которые протекают без выделения химических веществ и изменения химического состава древесины [10]. Для идентификации механических изменений в структуре древесины ольхи после термоуплотнения использовали микросъемку при помощи оптического микроскопа «Leica DM LB» и заранее подготовленных проб среза поверхностного слоя древесины [11, 12]. Для проведения испытания были взяты образцы, подготовленные в производственных условиях согласно ТУ РБ 100354659.119–2018.

Сравнивая полученные снимки натуральной (рис. 3) и термоуплотненной древесины ольхи (рис. 4), можно увидеть значительную деформацию клеток древесины, сокращение полостей, а также смятие их стенок вследствие механического воздействия. Разрушение элементов древесины не наблюдается.

**Закключение.** Исследование особенностей структурных изменений уплотненной древесины ольхи для изготовления столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели показало, что уплотнение древесины ольхи привело к качественному изменению в структуре основных компонентов лигноуглеводной матрицы древесины.

Микроскопическое исследование показало, что в результате уплотнения структуры древесины происходит механическая деформация ранних и поздних трахеид, т. е. смятие их клеточных стенок. Под действием сжимающих нагрузок произошла деформация клеток древесины, за счет чего ширина рядов клеток стала меньше, что привело к увеличению значения плотности, т. е. к увеличению количества вещества в единице объема. Несмотря на сложное анатомическое строение древесины, между ее объемным весом (плотностью) и прочностью имеется связь: с увеличением объемного веса при одной и той же влажности увеличивается и прочность древесины. Таким образом, уплотненная древесина имеет в несколько раз большую прочность, твердость и ударную вязкость, чем натуральная древесина.

### Литература

1. Утгоф С. С., Игнатович Л. В. Исследование эффективности использования уплотненной древесины мягких лиственных пород для производства изделий из древесины с улучшенными эксплуатационными свойствами // Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития. 2013. С. 143–147.

2. Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов: СТБ 1333.0–2002. Введ. 28.06.2002. Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2002. 16 с.
3. Детали профильные из древесины и древесных материалов для строительства: ТУ РБ 100354659.119–2018. Введ. 05.06.2018. Минск: БГТУ, 2018. 16 с.
4. Gong M., Lamason C. Improvement of Surface Properties of Low Density Wood: Mechanical Modification with Heat Treatment. Canada: University of New Brunswick Publ., 2007. 111 p.
5. Lamason C. Optimization of pressing parameters for mechanically surface-densified aspen // Forest Products Journal. 2007. No. 57 (10). P. 64–68.
6. Утгоф С. С. Термомеханически модифицированная древесина ольхи и березы для изготовления лицевого слоя паркетных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Минск, 2014. 23 с.
7. Азаров В. И. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
8. Игнатович Л. В., Утгоф С. С. Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины сосны и ольхи // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. С. 192–195.
9. Соловьева Т. В. Превращение компонентов лигноуглеводной матрицы в технологии древесноволокнистых плит: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. Минск, 1998. 259 л.
10. Прокопчук Н. Р. Определение энергии активации деструкции полимеров по данным термогравиметрии // Пластические массы. 1983. № 10. С. 24–25.
11. Бернштейн В. А., Егоров В. М. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров. Л.: Химия, 1990. 256 с.
12. Дехант Й. Инфракрасная спектроскопия полимеров. М.: Химия, 1976. 471 с.

#### References

1. Utgof S. S., Ignatovich L. V. Research on the effectiveness of using compacted hardwood for the production of wood products with improved performance properties. *Promyshlennost' regiona: problemy i perspektivy innovatsionnogo razvitiya* [Industry of the region: problems and prospects of innovative development], 2013, pp. 143–147 (In Russian).
2. STB 1333.0–2002. Polymer construction. Method for determining the durability of the activation energy for thermal oxidative degradation of polymeric materials. Minsk, M-vo arhitektury i str-va Resp. Belarus' Publ., 2002. 16 p. (In Russian).
3. TU RB 100354659.119–2018. Profile details of wood and wood-based materials for construction. Minsk, BGTU Publ., 2018. 16 p. (In Russian).
4. Gong M., Lamason C. Improvement of Surface Properties of Low Density Wood: Mechanical Modification with Heat Treatment. Canada, University of New Brunswick Publ., 2007. 111 p.
5. Lamason C. Optimization of pressing parameters for mechanically surface-densified aspen [Forest Products Journal], 2007, no. 57 (10), pp. 64–68.
6. Utgof S. S. *Termomekhanicheski modifitsirovannaya drevesina ol'khi i berezy dlya izgotovleniya litsevoogo sloya parketnykh izdeliy. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Thermomechanical modified alder and birch wood for the production of the surface layer of parquet products. Abstract of thesis kand. of tech. sci.]. Minsk, 2014. 22 p.
7. Azarov V. I. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Wood Chemistry and synthetic polymers]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 624 p.
8. Ignatovich L.V., Utgof S. S. Features of structural changes during thermomechanical modification pine and alder wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 192–195 (In Russian).
9. Solov'yeva T. V. *Prevrashcheniye komponentov lignouglevodnoy matritsy v tekhnologii drevesnovoloknistykh плит. Dis. d-ra fiz.-mat. nauk* [The transformation of the components of the ligno-carbohydrate matrix in the technology of wood-fiber boards. Doct. Diss.]. Minsk, 1998. 259 p.
10. Prokopchuk N. R. Determination of activation energy of polymer degradation according to thermogravimetry. *Plasticheskiye massy* [Plastics], 1983, no. 10, pp. 24–25 (In Russian).
11. Bernshtein V. A., Egorov V. M. *Differentsial'naya skaniruyuschaya kalorymetriya v fizikokhimii polimerov* [Differential scanning calorimetry in the physical chemistry of polymers]. St. Petersburg, Khimiya Publ., 1990. 256 p.
12. Dekhant J. *Infrakrasnaya spektroskopiya polimerov* [Infrared spectroscopy of polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 471 p.

### Информация об авторах

**Шетько Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13 а, Республика Беларусь). E-mail: [tidid@belstu.by](mailto:tidid@belstu.by)

**Игнатович Людмила Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [ignatovich@belstu.by](mailto:ignatovich@belstu.by), [lignatovich6@gmail.com](mailto:lignatovich6@gmail.com)

**Прохорчик Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины, декан факультета заочного образования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [prohor@tut.by](mailto:prohor@tut.by)

**Чуйков Алексей Сергеевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [offlex88@mail.ru](mailto:offlex88@mail.ru)

### Information about the authors

**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)

**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), [lignatovich6@gmail.com](mailto:lignatovich6@gmail.com)

**Prokhorchik Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles, Dean of the Faculty of Extramural Studies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [prohor@tut.by](mailto:prohor@tut.by)

**Chuiikov Aleksey Sergeevich** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [offlex88@mail.ru](mailto:offlex88@mail.ru)

*Поступила 14.10.2019*



УДК 674.048

**А. Ю. Бовтрель, И. К. Божелко**

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАЩИТЫ  
ПИЛОПРОДУКЦИИ**

С увеличением экспорта биозащита пиломатериалов становится наиболее актуальной. Возникают определенные трудности транспортировки пилопродукции, так как древесина – материал природного происхождения. Она подвержена поражениям различными видами микроорганизмов. Известны способы защиты, которые предотвращают развитие поражений, такие как сушка до транспортной влажности, а также пропитка антисептиками. В работе изучены основные транспортные антисептики.

**Ключевые слова:** древесина, антисептики, пилопродукция, транспортировка, защита.

**A. Yu. Bovtrel', I. K. Bozhelko**

Belarusian State Technological University

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF TRANSPORT PROTECTION  
OF SAWN PRODUCTS**

With the increase in exports, the bioprotection of lumber becomes the most relevant. There are certain difficulties in transporting sawn timber, as wood is a material of natural origin. It is susceptible to damage by various types of microorganisms. Known methods of protection that prevent the development of lesions such as drying to transport moisture, as well as impregnation with antiseptics. The main transport antiseptics were studied in the work.

**Key words:** wood, antiseptics, lumber, transportation, protection.

**Введение.** Для того чтобы защитить древесину и пилопродукцию при транспортировке, а также во время хранения, недостаточно использовать только полимерные пленки.

Повреждения древесины, вызванные жизнедеятельностью плесневых и древоокрашивающих грибов, наносят большой ущерб пиломатериалам и делают древесину непригодной для применения в качестве декоративного, отделочного, а в некоторых случаях и строительного материала. Определенные климатические условия, повышенная влажность, способствующие образованию в древесине синевы, плесени, бурой, белой и мягкой гнили, а также деятельность термитов и других насекомых делают предварительную обработку древесины единственно возможным способом ее защиты [1, 2, 3].

**Основная часть.** Древесина естественной влажности (в среднем от 35 до 80%) подвержена поражению различными видами грибов [4, 5, 6, 7]. Такая древесина, уложенная в плотные пакеты, особенно в весенний, летний и осенний период года, может прийти в негодность в течение нескольких дней, что делает невозможным не то что использование, но даже транспортировку древесины естественной влажности на большие расстояния. Соответственно, сортность пилопродукции снижается, что ведет к значительным финансовым потерям. Процент брака по результатам промышленных замеров в среднем составляет от 1,5 до 6%. При производственной мощности 20 000 м<sup>3</sup>/мес. процент брака из-за синевы

может достигать до 1000 м<sup>3</sup>. Если перевести эти цифры в денежные единицы, то получится более 400 000 BYN финансовых потерь. На рис. 1, 2 и 3 представлены различные степени поражения пилопродукции.



Рис. 1. Площадь поражения грибами 30%

На сегодняшний день наибольшее распространение получили два метода биозащиты пиломатериалов, которые позволяют экспортировать древесину на длительные расстояния. В первом случае содержание влаги в древесине доводят до «транспортной влажности», то есть ниже 22%. Для этого древесину просушивают естественным путем в соответствии с ГОСТ 3808.1–80 [8]. Древесину транспортной влажности можно применять для изготовления, например, строительных



конструкций, тары, транспортных поддонов. Для получения высококачественной продукции древесину необходимо высушить до более низкой влажности в сушильных камерах. Древесину камерной сушки получают влажностью от 16 до 18% в зависимости от ее назначения. Сушка производится в соответствии с ГОСТ 19773–84 [9] и рекомендациями производителей современных сушильных камер. Длительное воздействие высоких температур в процессе сушки снижает влажность древесины, а также уничтожает находящиеся в ней микроорганизмы и насекомых. Древесина, высушенная в сушильной камере с соблюдением установленных требований, не подвергается процессу гниения при эксплуатации в сухой среде. При данном методе основной сложностью является получение качественных требуемых показателей сушки, в том числе остаточных внутренних напряжений и трещин. Эти параметры зависят от используемого оборудования и принятых режимов сушки в зависимости от вида пиломатериалов.



Рис. 2. Площадь поражения пиломатериалов более 50%



Рис. 3. Площадь поражения пиломатериалов более 15%

Сушка пилопродукции очень дорогостоящий технологический процесс. Производственные мощности иногда не позволяют сушить всю напиленную древесину. Поэтому существует промышленный способ защиты – пропитка методом окунания. Этот процесс также имеет свои достоинства и недостатки. Пропитка обладает меньшими денежными затратами. Однако она не всегда эффективна, особенно при отправке пилопродукции на большие расстояния, например, морским транспортом в Китай. Так как пиломатериал пересекает экватор, подвержен перепадам температуры и влажности, проблема защиты древесины, а именно пропитки методом окунания, требует дальнейшего изучения.

В процессе патентного анализа, а также изучения рынка были определены наиболее известные биозащитные средства как зарубежного, так и отечественного производств [10, 11, 12]. Среди импортных наибольшее распространение получили:

- Antiblu Select, производитель – Arch Timber Protection;

- Sinesto B, производитель – BASF Wolman.

Из белорусских можно выделить антисептик Белмастер Экотранс (производитель ООО «Сталькон групп»), Ларитех экосепт (ООО «ДиДиЕ-групп») и др.

В промышленных масштабах для защиты древесины биозащитными средствами применяют пропиточные ванны. Пример установки для окунания представлены на рис. 4 и 5.

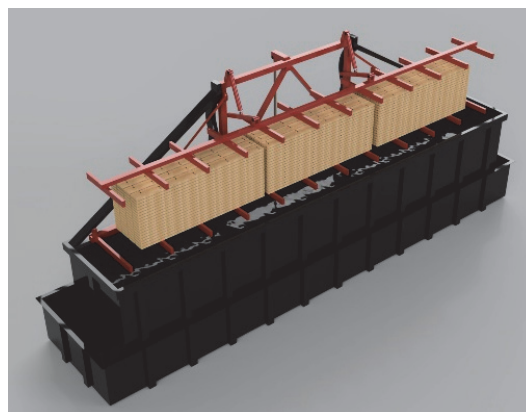


Рис. 4. Установка для пропитки методом окунания

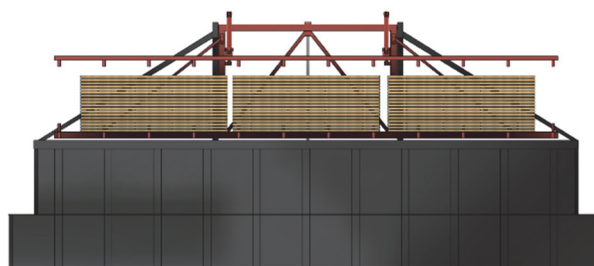


Рис. 5. Схема установки

Для проведения сравнительной оценки био-защитной эффективности пропиточных составов были проведены исследования биостойкости наиболее распространенных транспортных антисептиков, указанных выше. Для испытаний были взяты девять наиболее известных защитных средств с различным компонентным составом. Испытания проводились на образцах из древесины размерами 10×55×75 мм (последний размер – по длине волокон). Образцы изготавливали из прямослойной свежераспиленной древесины заболони сосны с плотностью в воздушно-сухом состоянии 0,48–0,52 г/см<sup>3</sup>. Древесина не имела видимых пороков. В образце на 1 см по радиусу было по 5–7 годичных слоев, параллельных широкой пласти. Влажность образцов перед испытанием была не менее 100%. Аппаратура, материалы, посуда соответствовали всем требованиям, указанным в данном стандарте на проведение этого метода [13].

Испытание каждой концентрации защитного средства проводилось на 18 пропитанных образцах (по 6 образцов для каждой из трех групп грибов) и 6 контрольных (непропитанных) образцах (по 2 образца для каждой из трех групп грибов). Образцы древесины пропитывались не позднее чем через 24 ч после изготовления, перед пропиткой нумеровали, затем взвешивали с точностью до 0,02 г.

После пропитки образцы выдерживали над пропиточной емкостью в течение (20 ± 5) мин. И снова взвешивались. Пропитка образцов проводилась методом погружения в раствор с выдержкой в нем в течение 60 с.

Поглощение раствора защитного средства П, кг/м<sup>2</sup>, вычисляли по формуле

$$П = \frac{m_2 - m_1}{S},$$

где  $m_1$  – масса образца до обработки, г;  $m_2$  – масса образца после обработки, г;  $S$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>.

После пропитки образцы перед испытанием выдерживались в открытых боксах в комнатных условиях в течение 2,5 ч.

Для каждого испытания готовили три эксикатора. В эксикаторы засыпали на 1/4 высоты предварительно увлажненные до (70 ± 5)% опилки из здоровой заболони сосны. Опилки орошались рабочей суспензией грибов при помощи пульверизатора. В каждый эксикатор вносилась суспензия грибов определенной группы. Эксикаторы находились в помещении с температурой (25 ± 2)°С и относительной влажностью воздуха (80 ± 5)% в течение 14 дней до начала испытаний.

Для каждого варианта опыта испытывали 18 образцов: по 6 шт. на каждой из трех групп грибов [4, 14, 15]. В каждый эксикатор устанавливали 6 образцов защищенных средством одной концентрации. Продолжительность испытания составляла 15 сут. Состояние образцов оценивалось визуально через 5, 10 и 15 сут.

При текущей оценке состояния образцов учитывалась (в процентах) средняя площадь поражения грибами их поверхностей. По окончании испытания дополнительно оценивали стадию развития грибов (в баллах).

Среднюю площадь поражения грибами образцов определяли как отношение суммы площадей, пораженных грибами, к общей площади образцов (в процентах).

Результаты исследований по ГОСТ 30028.4–2006 представлены в таблице. Как видим, большинство испытываемых антисептиков обеспечивают полную биозащиту древесины, но на некоторых образцах был обнаружен незначительный рост грибов, что свидетельствует о начале биопоражения.

#### Результаты определения эффективности защитных средств для древесины по отношению к плесневым и деревоокрашивающим грибам

№ образца	Наименование антисептика	Концентрация, %	Среднее поглощение раствора антисептика, г/м <sup>2</sup>	Средняя площадь поражения поверхности образцов грибами, % по истечении									
				5 сут в группе грибов			10 сут в группе грибов			15 сут в группе грибов			
				А	В	С	А	В	С	А	В	С	
1	Antiblu Selekt	2,0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Antiblu Selekt 3787	(1,1 : 1,4)%	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Sinesto B	3,0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Medera 10 Concentrate	2,0	148	0	0	1	0	0	3	0	3	4	
5	Dali	Готовый состав	142	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
6	Goldbastik bb 19	3,0	157	0	0	0	0	3	1	1	4	2	
7	Белмастер Экотранс	3,0	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Ларитех экосепт	Готовый состав	165	0	0	0	1	2	2	3	4	3	
9	Опытный образец БГТУ	Готовый состав	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Полученные данные показывают об ограниченности ГОСТ 30028.4–2006 для проведения объективной оценки биозащитной эффективности транспортных антисептиков. Для более достоверной информации требуется увеличение продолжительности испытаний до реального времени транспортировки, поскольку контейнер с пиломатериалами может находиться в пути и более месяца. Также не учитывается температурный фактор (например, при пересечении экватора температура может достигать до 40°C и выше) и его влияние на устойчивость защитных средств. Поэтому для корректной оценки эффективности транспортных защитных средств предлагается увеличить продолжительность испытаний до 3 месяцев с искусственной имитацией температурных полей, отражающих наиболее рискованные с точки зрения поражения грибами логистические

маршруты пилопродукции. Предлагаемая методика позволит устранить имеющиеся недочеты в действующем стандарте, но требует дальнейшей апробации и изучения.

**Заключение.** Поражение пиломатериалов деревоокрашивающими и плесневыми грибами является существенной проблемой для деревообрабатывающих предприятий.

Защита древесины методом окунания требует тщательного отбора антисептиков для пропитки и соблюдения технологии их нанесения. В результате проведенных исследований установлено, что стандартный метод определения эффективности защиты транспортными антисептиками не позволяет получить объективные данные. Поэтому предлагается проводить испытания с учетом продолжительности транспортировки пилопродукции и климатических условий.

### Литература

1. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
2. Горшин С. Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. 355 с.
3. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.
4. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Определение преобладающих культур дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов, их воздействие на древесину // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 299–304.
5. Семенкова И. Г. Фитопатология. Дереворазрушающие грибы, гнили и патологические окраски древесины (определятельные таблицы). М.: МГУП, 2001. 57 с.
6. Белясова Н. А. Микробиология. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2007. 160 с.
7. Мейер Е. И. Определитель деревоокрашивающих грибов. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1953. 116 с.
8. Пиломатериалы хвойных пород. Атмосферная сушка и хранение: ГОСТ 3808.1–80. Введ. 01.01.81. М.; Гос. ком. СССР по стандартам, 1980. 12 с.
9. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия: ГОСТ 19773–84. Введ. 01.01.85. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1984. 14 с.
10. Мазаник Н. В. Современные биозащитные средства для древесины // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 181–184.
11. Мазаник Н. В. Комплексная защита древесных материалов антисептиками синергического действия: автореф. ... дис. канд. техн. наук. Минск, 2010. 22 с.
12. Божелко И. К. Корректировка рецептуры защитных средств в процессе пропитки древесины // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 162–166.
13. Средства защитные для древесины. Экспресс-метод оценки эффективности против деревоокрашивающих и плесневых грибов: ГОСТ 30028.4–2006. Введ. 01.01.07. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. 6 с.
14. Мазаник Н. В., Снопков В. Б. Тест-культуры грибов для испытания средств защиты древесины // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 194–198.
15. Бовтрель А. Ю., Божелко И. К. Биовлагозащитная обработка древесины и деревянных строительных конструкций // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 227–231.

### References

1. Sergovskiy P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p.
2. Gorshin S. N. *Konservirovaniye drevesiny* [Wood preservation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 355 p.

3. Paul E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedeniye s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the fundamentals of forest goods science]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 315 p.
4. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. Determination of the predominant cultures of wood-destroying and wood-coloring fungi, their effect on wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 299–304 (In Russian).
5. Semenkova I. G. *Fitopatologiya. Derevorazrushayushchiye griby, gnili i patologicheskiye okraski drevesiny (opredelitel'nyye tablitsy)* [Phytopathology. Wood-destroying fungi, decay and pathological stains of wood (key)]. Moscow, MGUP Publ., 2001. 57 p.
6. Belyasova N. A. *Mikrobiologiya. Laboratornyy praktikum* [Microbiology. Laboratory workshop]. Minsk, BGTU Publ., 2007. 160 p.
7. Meyer E. I. *Opredelitel' derevookrashivayushchikh gribov* [Key to wood-coloring fungi]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1953. 116 p.
8. GOST 3808.1–80. Pilomaterialy khvoynykh porod. Atmosfernaya sushka i khraneniye. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1980. 12 p. (In Russian).
9. GOST 19773–84. Pilomaterialy khvoynykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deystviya. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1984. 14 p. (In Russian).
10. Mazanik N. V. Modern bioprotective agents for wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 181–184 (In Russian).
11. Mazanik N. V. *Kompleksnaya zashchita drevesnykh materialov antiseptikami sinergicheskogo deystviya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Complex protection of wood materials with anti-septic tanks of synergistic action. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 2010. 22 p.
12. Bozhelko I. K. Adjusting the formulation of protective agents in the process of impregnating wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 162–166 (In Russian).
13. GOST 30028.4–2006. Protective equipment for wood. Express method of evaluating the effectiveness against wood-growing and mold fungi. Moscow, Mezhgosudarstvennyy soviet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2006. 6 p. (In Russian).
14. Mazanik N. V., Snopkov V. B. Test cultures of fungi for testing of wood protection means. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 194–198 (In Russian).
15. Bovtrel' A. Yu., Bozhelko I. K. Biological protection processing of wood and wood construction structures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2019, pp. 227–231 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Бовтрель Альбина Юрьевна** – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonik.alya@mail.ru

**Бошелко Игорь Константинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

#### Information about the authors

**Bovtrel' Al'bina Yur'yevna** – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonik.alya@mail.ru

**Bozhelko Igor' Konstantinovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

Поступила 16.10.2019

УДК 674. 048

**О. К. Леонович**

Белорусский государственный технологический университет

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЕ УТЕПЛЕНИЕ  
ОГРАЖДАЮЩИХ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В работе исследуются технологические процессы утепления деревянных домов из массивной древесины, клееного бруса, деревянных домов каркасного типа, кирпичных и панельных домов с различного типа утеплителями. Рассмотрены варианты утепления ограждающих и внутренних стен, перегородок, а также перекрытий и полов термоизоляционными плитами из древесного волокна сухого способа прессования и расчета термического сопротивления ограждающих конструкций деревянных домов каркасного типа, кирпичных, панельных и других сооружений. Предложены направления использования экологически безопасного утеплителя для утепления конструкций полов, перегородок и перекрытий в жилых, лечебных, дошкольных и учебных учреждениях, а также общественных зданиях общепита, сельскохозяйственных и спортивных сооружениях.

**Ключевые слова:** древесина, дома, каркас, экология, утеплитель, эффективность.

**О. К. Leonovich**

Belarusian State Technological University

**ENERGY EFFICIENT ENVIRONMENTALLY SAFE WARMING  
OF ENCLOSURE WALL CONSTRUCTIONS**

The work examines the technological processes of warming wooden houses made of solid wood, glued beams, wooden houses of frame type, brick and panel houses with various types of insulation. The options of warming enclosing and internal walls, partitions, as well as floors and floors with heat-insulating boards made of wood fiber of the dry pressing method and calculating the thermal resistance of the enclosing structures of frame-type wooden houses, brick, panel and other structures are considered. Directions for the use of environmentally friendly insulation for insulation of floor structures, partitions and ceilings in residential, medical, preschool and educational institutions, as well as public catering buildings, agricultural and sports facilities are proposed.

**Key words:** wood, home, frame, ecology, insulation, efficiency.

**Введение.** Государственная жилищная политика Республики Беларусь предусматривает создание условий для удовлетворения потребности граждан в доступном и комфортном жилье согласно их индивидуальным запросам и финансовым возможностям, формирование полноценного рынка жилья. Наряду со строительством крупнопанельного домостроения, планируется разрабатывать и реализовывать проекты строительства малоэтажных деревянных, кирпичных и панельных экологически безопасных и быстровозводимых домов.

В настоящее время наиболее востребованы технологии производства деревянных домов: бревенчатые, из оцилиндрованной древесины, клееного массивного или профилированного бруса и каркасного типа.

Основная проблема при строительстве домов из бревен, в т. ч. из оцилиндрованной древесины, – это длительный период усадки, составляющий около 5 см в течение года на 1 м высоты сруба. При строительстве ограждающих конструкций из клееной массивной древесины эта проблема отсутствует, но при их производстве используются фенольные клеи, которые

в процессе эксплуатации будут длительное время выделять вредные вещества. И во всех случаях при строительстве деревянных домов из массивной древесины толщина стен должна быть не менее 43–45 см, а кирпичных и бетонных – не менее 70 см. С учетом высокой стоимости строительных материалов экономически целесообразны предложения ряда авторов по разработке конструкций стен, полов, перекрытий различных зданий с применением утеплителей, имеющих значительно ниже коэффициент теплопроводности, что позволяет уменьшить толщину конструкции и при этом обеспечить нормируемый уровень теплозащиты [1–12].

**Основная часть.** Объектами исследования являются стеновые панели для домов каркасного типа, а также кирпичных и панельных зданий.

В настоящее время для утепления стеновых панелей применяется различного типа стекловата, которая содержит вредные компоненты, так как при ее производстве используются экологически небезопасные фенольные смолы.

В предлагаемой конструкции предусматривается крепление конструкций каркаса плитными



материалами, в которых не используются фенолформальдегидные, фенольные и другие клеи, выделяющие при эксплуатации вредные вещества (рис. 1).

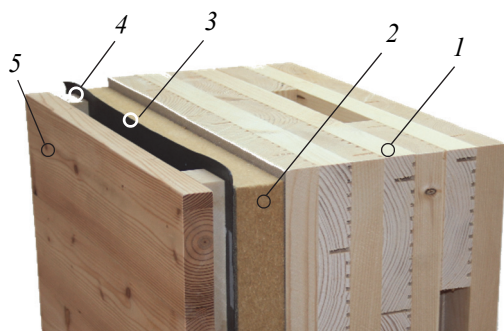


Рис. 1. Стеновая панель, изготовленная из плиты МХМ с дополнительным наружным утеплением:

- 1 – МНМ панель (7 слоев) – 175 мм;
- 2 – теплоизоляционная плита Белтермо ULTRA – 100 мм;
- 3 – влаго-ветрозащитная мембрана – 0,1 мм;
- 4 – ригель 50×50 мм; 5 – внешняя обшивка

Для увеличения теплозащитных свойств предложено использовать вентилируемые проемы и применение новой теплоизоляционной древесноволокнистой плиты сухого способа прессования по методу Siempelkamp, выпускаемой (ОАО «Мозырский ДОК»).

Связующим при производстве теплоизоляционных плит из древесного волокна являются смолы РМДИ. В результате получается экологически безопасная плита, не содержащая фенольных и других вредных выделений при эксплуатации.

Используемые в данной конструкции плиты МНМ состоят из смежных слоев досок, которые укладываются перпендикулярно друг к другу и скрепляются алюминиевыми штифтами по диагонали через каждые 15 см (рис. 2).



Рис. 2. Соединение досок в слоях плиты МНМ

Изоляционные древесноволокнистые плиты Белтермо – это экологически безопасные материалы, предназначенные для утепления и звукоизоляции, в состав которых входит древесина, преимущественно хвойных пород, полиуретановая безвредная смола и, во влагостойких плитах, парафиновая эмульсия.

Плиты Белтермо производятся в Беларуси на государственном предприятии «Мозырский ДОК» на немецком оборудовании, по той же технологии, что и зарекомендовавшие себя бренды Steico и Gutex. Они имеют европейские сертификаты и поставляются на рынок Европы и России.

При строительстве домов необходимо проектировать ограждающие конструкции, у которых термическое сопротивление теплопередаче не ниже нормативного  $R_{т.норм} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 и изменениями к ним. Определение характеристик тепловой защиты при проектировании жилых и общественных зданий проводится в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий».

Расчет данной ограждающей конструкции на сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции проводился по формуле

$$R_k = \frac{1}{\alpha_v} + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_n},$$

где  $R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\alpha_v$ ,  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

$$R_k = \frac{\lambda}{\delta},$$

здесь  $\delta$  – толщина однослойной однородной конструкции или слоя многослойной конструкции;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации.

Расчет конструкций с учетом нормативных требований к сопротивлению теплопередаче, расчетных значений температуры, максимального парциального давления водяного пара и относительной влажности для конструкции стеновой панели в различных сечениях проводится в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-196-2010 [11–12].

Особый интерес представляет использование утеплителя Белтермо для создания новых конструкций стен из кирпича или железобетонных конструкций с утеплением с помощью каркаса, заполненного теплоизоляционными плитами Белтермо и наружной облицовкой (рис. 3, 4).



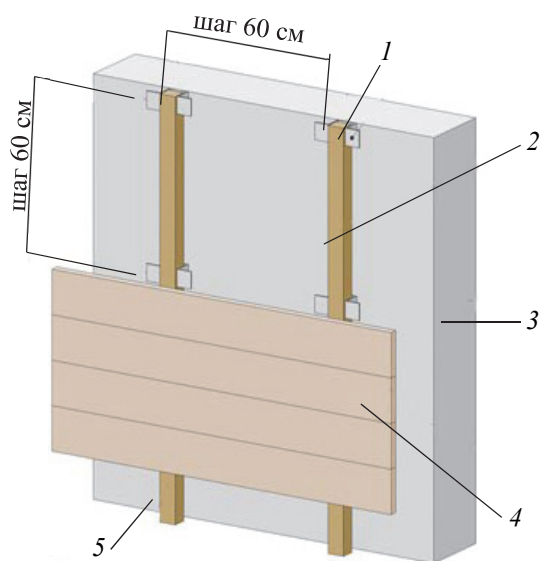


Рис. 3. Схема крепления обрешетки к бетонной стеновой панели  
1 – П-образный подвес; 2 – обрешетка из дерева, шаг 40–60 см; 3 – стена; 4 – облицовка-сайдинг ПВХ; 5 – сечение 60×30 мм (или 60×40 мм, 50×40 мм)

Шаг может быть 40, 62, 62,5 см в зависимости от типа облицовки.

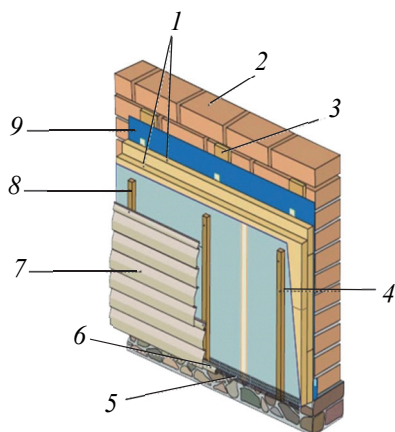


Рис. 4. Схема вентилируемого фасада ограждающей конструкции из кирпича с утеплением плитами из древесного волокна Белтермо:  
1 – утеплитель (два слоя древесноволокнистой плиты Белтермо); 2 – стена; 3 – дистанционная планка, обеспечивающая вентиляцию между стеной и утеплителем; 4 – дистанционная планка; 5 – вентиляционная решетка, защищенная сеткой; 6 – стартовая планка; 7 – сайдинг; 8 – ветроизоляция; 9 – пароизоляция

Необходимо учитывать, что применение каркасных стен в ограждающих конструкциях определяется исходя из степени огнестойкости по ТКП 45-2-315-2018 [13].

Внутреннюю облицовку следует выполнять из гипсокартонных материалов по ГОСТ 6266 [14]. Наружную облицовку необходимо выполнять из морозо- и атмосферостойких материалов, цементно-стружечных плит, цементокерамзитовых плит.

В качестве теплоизоляционного слоя в конструкциях каркасных стен рекомендуется использовать плиты Белтермо марок: TOP, ULTRA, INSTAL, MULTI, SAFE, ROOM, KOMBI.

Необходимость устройства вентилируемой воздушной прослойки и ее толщину следует определять расчетом согласно разделу 6 ТКП45-3.02-113 [15].

Для помещений с влажным и мокрым режимом эксплуатации следует предусматривать устройство теплоизоляционного слоя между внутренним утеплителем и внутренней облицовкой. Пароизоляционный слой из полиэтиленовой пленки располагается между внутренней облицовкой и каркасом.

В сухих и нормальных условиях эксплуатации допускается не применять пароизоляционные слои, если сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации не менее требуемого сопротивления паропрооницанию, которое определяется по ТКП 45-2.04-43 [11].

Сдерживающим фактором успешного развития экологически безопасного строительства деревянных, кирпичных, панельных и железобетонных конструкций с дополнительным утеплением является отсутствие нормативной базы по проектированию и строительству.

**Закключение.** В ограждающих и внутренних стеновых панелях и перекрытиях домов каркасного типа следует исключить использование теплоизоляционных материалов, выделяющих фенольные вещества, в том числе и стекловаты. При строительстве домов каркасного типа в качестве теплоизоляционного материала рекомендуется использовать выпускаемые на ОАО «Мозырский ДОК» теплоизоляционные плиты на основе древесного волокна непрерывного прессования по технологии Siempelkamp, которая предусматривает применение смол РМДИ, поэтому производимые плиты являются экологически безопасными.

Для успешного развития экологически безопасного деревянного домостроения и утепления кирпичных, панельных и железобетонных ограждающих конструкций с применением экологически безопасных строительных материалов необходимо разработать и ввести в действие:

– СПБ «Деревянные конструкции. Правила проектирования малоэтажных каркасно-панельных зданий»;

– СТБ «Методы определения прочностных и упругих характеристик древесины перекрестно-клееной (CLT) и перекрестно скрепленной гвоздями (МНМ);

– СПБ «Деревянные конструкции. Правила проектирования зданий из перекрестной древесины на клеевой основе (CLT) и экологически безопасной, скрепленной алюминиевыми гвоздями (МНМ).

### Литература

1. Леонович О. К. Расчет дополнительных утеплений ограждающих конструкций зданий и сооружений // Мастерская. Современное строительство. 2010. № 12. С. 52–57.
2. Леонович О. К. Конструктивные и химические методы биозащиты деревянных домов каркасного типа // Архитектура и строительство. 2013. № 1. С. 40–43.
3. Леонович О. К., Судникович С. П. Исследование прочностных и теплофизических свойств деревянных строительных конструкций // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 135–137.
4. Леонович О. К., Судникович С. П. Проблемы применения клееной многослойной древесины (КМД) при строительстве домов каркасного типа // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: VIII Междунар. евраз. симп. Екатеринбург, 15–17 мая 2013 г. URL: <http://symposium.forest.ru> (дата обращения 10.10.2019).
5. Леонович О. К., Судникович С. П. Деревянные строительные конструкции для домов каркасного типа повышенной огне-биостойкости с утеплителем на основе LDF // Архитектура и строительство 2013. № 6. С. 56–59.
6. Леонович О. К. Защита клееных деревянных конструкций (КДК) от биоповреждений в производственных и бытовых условиях // Мастерская. Современное строительство. 2013. № 100. С. 184–186.
7. Леонович О. К. Расчет теплопереноса в стеновых панелях деревянного дома каркасного типа с применением новых теплоизоляционных материалов // Архитектура и строительство. 2014. № 1. С. 42–43.
8. Леонович О. К. Повышение долговечности и экологической безопасности стеновых панелей деревянных домов каркасного типа // Труды БГТУ. 2014. № 2 (166): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 122–125.
9. Леонович О. К. Конструктивные особенности соединений домов каркасного типа // Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 58–59.
10. Леонович О. К., Божелко И. К. Концепция развития экологически безопасного деревянного домостроения в республике Беларусь // Архитектура и строительные науки. № 1, 2 (22, 23) 2019. С. 60–64.
11. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. Минск: Стройтехнорм, 2006. 36 с.
12. Тепловая защита зданий. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-196-2010. Минск: Стройтехнорм, 2010. 48 с.
13. Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2-315-2018 (33020) с Изменением № 1; введ. 15.01.2019. Минск: Минскстройархитектуры, 2019. 55 с.
14. Листы гипсокартонные. Технические условия: ГОСТ 6266–1999. Введ. 31.03.1999. М.: МИТСК, 1999. 32 с.
15. Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования: ТКП45-3.02-113 Введ. 10.07.2009. Минск: Стройтехнорм, 2009. 41 с.

### References

1. Leonovich O. K. Calculation of additional insulation of the enclosing structures of buildings and structures *Masterskaya. Sovremennoye stroitel'stvo* [Workshop. Modern building], 2010, no. 12, pp. 52–57 (In Russian).
2. Leonovich O. K. Constructive and chemical methods of bioprotection of wooden houses of frame type *Arkhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and Construction], 2013, no. 1, pp. 40–43 (In Russian).
3. Leonovich O. K., Sudnikovich S. P. Investigation of the strength and thermophysical properties of wooden building structures *Trudy of BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 135–137 (In Russian).
4. Leonovich O. K., Sudnikovich S. P. Problems of the application of glued laminated wood (CMD) in the construction of frame-type houses. *VIII Mezhdunarodnyy yevraziyskiy simposium "Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka"* [VIII International Eurasian Simposium "Woodworking: Technologies, Equipment, Management of the 21st Century"]. Available at: <http://symposium.forest.ru> (accessed 05.09.2019) (In Russian).

5. Leonovich O. K., Sudnikov S. P. Wooden building structures for frame houses of increased fire and bio-resistance with insulation on the basis of LDF *Arkhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and Construction], 2013, no. 6, pp. 56–59 (In Russian).

6. Leonovich O. K. Protection of glued wooden structures (KDK) from biodeterioration in industrial and domestic conditions *Masterskaya. Sovremennoye stroitel'stvo* [Workshop. Modern building], 2013, no. 100, pp. 184–186 (In Russian).

7. Leonovich O. K. Calculation of heat transfer in the wall panels of a wooden frame-type house using new heat-insulating materials *Arkhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and Construction], 2014, no. 1, p. 42–43 (In Russian).

8. Leonovich O. K. Improving the durability and environmental safety of wall panels of wooden houses of frame type. *Trudy of BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 122–125 (In Russian).

9. Leonovich O. K. Design features of the connections of frame-type houses *Arkhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and Construction], 2015, no. 1, pp. 58–59 (In Russian).

10. Leonovich O. K., Bozhelko I. K. The concept of development of environmentally friendly wooden housing construction in the Republic of Belarus *Arkhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and Construction], 2019, no. 1, 2 (22, 23), pp. 60–64 (In Russian).

11. ТКР 45-2.04-43-2006. Construction heat engineering. Building design standards. Minsk, Minskstroyarkhitektury Publ., 2006 (In Russian).

12. ТКР 45-2.04-196-2010. Thermal protection of buildings. Building design standards. Minsk, Minskstroyarkhitektury Publ., 2010 (In Russian).

13. ТКР 45-2-315-2018 (33020). Fire safety of buildings and structures. Building design standards. As amended by no. 1 (entered into force on 15.01.2019) Minsk, Minskstroyarkhitektury, 2019 (In Russian).

14. GOST 6266. Plasterboard sheets. Specifications. Moscow, MITSK Publ., 1999 (In Russian).

15. ТКР45-3.02-113. Thermal insulation of the external walling of buildings and structures. Building design standards. Minsk, Stroytekhnorm Publ., 2009 (In Russian).

#### **Информация об авторе**

**Леонович Олег Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, заведующий научно-исследовательской лабораторией огнезащиты строительных конструкций и материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: OKL2001@mail.ru

#### **Information about the author**

**Leonovich Oleg Konstantinovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology, Head of the Research Accredited Laboratory of Building Desings and Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: OKL2001@mail.ru

*Поступила 10.10.2019*

УДК 685.363

**А. В. Полховский, С. А. Прохорчик**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ  
К СПОРТИВНО-БЕГОВЫМ ЛЫЖАМ. МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ЛЫЖ**

Содержание статьи посвящено обзору требований, предъявляемых к спортивно-беговым лыжам, благодаря которым будут обеспечены необходимые скоростные, скользящие, физико-механические показатели. К ним относят высоту прогиба, массу, минимальную ширину лыжи в области установки крепления.

Проведен обзор основных эксплуатационных показателей спортивно-беговых лыж, а также дано краткое описание методик их определения. К ним относят определение высоты и длины остаточного прогиба, жесткости передней и задней частей лыжи, усталости при циклическом нагружении, прочности передней и средней частей лыжи.

Помимо показателей, регламентируемых ГОСТом, в статье приведены показатели, оказывающие важное влияние на качество лыж. К ним относят FA, HR и SVZ. Эти показатели используются для подбора лыж под конкретного спортсмена.

Также одной из важнейших характеристик спортивно-беговых лыж являются их скользящие свойства. Рассмотрен ряд методик для их определения: тест «откатка» с использованием стандартного груза, тест «откатка» с участием спортсмена, тест на качество работы лыж.

**Ключевые слова:** лыжи, прогиб, жесткость, прочность, центр тяжести, масса, индекс жесткости.

**A. V. Polkhovskiy, S. A. Prokhorchik**

Belarusian State Technological University

**BASIC REQUIREMENTS FOR SPORTS RACING. SKI TEST METHODS**

The content of the article is devoted to a review of the requirements for cross-country skiing, due to which the necessary speed, sliding, physical and mechanical indicators will be provided. These include the height of the deflection, weight, the minimum width of the ski in the area of the mounting.

A review of the main operational indicators of cross-country skiing is carried out, as well as a brief description of the methods for their determination is given. These include determining the height and length of the residual deflection, the rigidity of the front and rear parts of the ski, fatigue during cyclic loading, the strength of the front and middle parts of the ski.

In addition to the indicators regulated by GOST, the article provides indicators that have an important impact on the quality of skis. These include FA, HR and SVZ. These indicators are used to select skis for a specific athlete.

One of the most important characteristics of cross-country skiing is their sliding properties. A number of methods for their determination are considered: a “rollback” test using a standard load, a “rollback” test with an athlete, and a test for the quality of ski work.

**Key words:** skiing, deflection, stiffness, strength, center of gravity, mass, stiffness index.

**Введение.** Существует целый ряд требований к спортивно-беговым лыжам, которые влияют на их скоростные качества, скользящие свойства, затраты усилий при движении, управляемость и стиль катания. Основные требования изложены в ГОСТ 30045–93 [1]. Этот стандарт устанавливает методики испытаний на остаточный прогиб, жесткость, усталость при циклическом нагружении, прочность, но не охватывает весь перечень требований, предъявляемых к спортивно-беговым лыжам. Поэтому актуальным является вопрос определения основных показателей качества лыж.

Целью данной статьи является аналитический обзор основных требований, предъявляемых

к лыжам, их основных эксплуатационных показателей, а также методик их определения.

**Основная часть.** Лыжи должны обладать достаточной прочностью и упругостью. Иметь вес и форму, соответствующие своему типу. Помимо этого, лыжи должны иметь хорошую сопротивляемость условиям погоды, особенно температуре и влажности. Прочность и упругость лыжи в первую очередь зависят от качества используемой в конструкции древесины, а также качества ее обработки. Упругость лыжи должна быть такой, чтобы под давлением груза, равного половине веса тела лыжника, она выпрямлялась; на ровной площадке под весом лыжника скользящая поверхность лыжи соприкасается со снегом всей своей плоскостью.

Для того чтобы обеспечить хорошее скольжение лыжи, ее скользящая поверхность не должна иметь шероховатости, царапины, задиры. Лыжа не должна быть перекошена. Скользящая поверхность должна быть гладкой и тщательно отполированной. Грузовая площадка расположена так, что давление веса лыжника приходится больше на заднюю, укороченную часть лыжи. Это, с одной стороны, помогает лучше разрезать и подминать снег, а с другой – не нарушая прямолинейности скольжения, облегчает выполнение поворота.

К лыжам участников соревнований предъявляются следующие требования: минимальная длина – рост спортсмена минус 40 мм, максимальная не ограничивается; минимальная ширина лыж, измеренная под креплением, может быть 40 мм, максимальная – не ограничивается; общий вес пары лыж без креплений должен быть не менее 750 г; по конструкции лыж – нет ограничений [2].

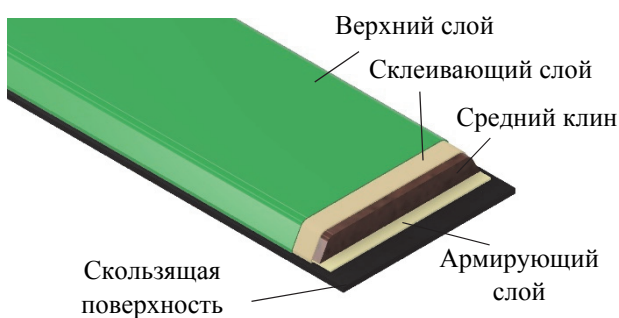


Рис. 1. Внутренняя структура лыжи

**Поверхность скольжения лыжи.** По всей длине поверхность скольжения должна быть гладкой или иметь небольшой продольный желоб. Поверхность скольжения по всей ширине и длине, за исключением продольного желоба, должна быть плоской.

**Верхняя поверхность лыжи.** Нет ограничений [2].

**Грани.** Боковые кромки не могут быть наклонными с расширением вверх, так чтобы основание лыж становилось уже, чем верхняя поверхность [2].

**Прочностные свойства.** Нет ограничений [2].

**Прогиб лыжи.** Определяется как расстояние между базой и плоской поверхностью, когда лыжа разгружена. Он не должен быть больше 3 см. Если он слишком большой, то носок и пятка будут зарываться в мягкий снег. При коньковом способе передвижения, надо будет поднимать выше ноги при каждом шаге, т. е. затрачивать больше энергии и времени.

**Масса лыжи** является важной характеристикой для участников соревнований, так как чем легче лыжа, тем выше скорость, развиваемая

спортсменом. Масса лыжи зависит от материалов, из которых она изготовлена. Лыжи с деревянным сердечником более тяжелые. Методику определения массы лыжи регламентирует ГОСТ 30199–94 [3, 4]. Согласно ГОСТу, за массу лыжи считается масса готовой лыжи без монтируемых частей. Измерение проводится с погрешностью  $\pm 10$  г [5], массу лыжи определяют в граммах.

Помимо массы, ГОСТ 30199–94 регламентирует методику определения центра тяжести лыжи. *Центр тяжести* – это точка опоры, находящаяся на линии, перпендикулярной к центральной оси скользящей поверхности лыжи. Для определения положения центра тяжести лыжу помещают на опору, уравнивают перемещением и определяют расстояние от центра тяжести до заднего конца лыжи [3].

Как отмечалось выше к основным эксплуатационным (физико-механическим) показателям лыжи можно отнести следующие параметры:

- остаточный прогиб;
- жесткость лыжи;
- усталость при циклическом нагружении;
- прочность лыжи;

**Остаточный прогиб.** Высота остаточного прогиба определяется как расстояние между базой и плоской поверхностью при приложении нагрузки к лыже. Длина остаточного прогиба – длина участка скользящей поверхности, не соприкасающаяся с плоской поверхностью, при приложенной к лыже нагрузке. Величина приложенной нагрузки зависит от длины лыжи [1].

Методика испытания заключается в следующем. На лыже отмечают точку приложения нагрузки (80 мм от центра тяжести в сторону конца лыжи). Затем лыжу размещают на плоской поверхности и постепенно нагружают до значений, приведенных в стандарте. Измеряют длину и высоту прогиба с погрешностями  $\pm 10$  и  $\pm 0,1$  мм соответственно. По результатам испытаний трех пар лыж находят среднее арифметическое значений высоты и длины остаточного прогиба. Лыжи считают выдержавшими испытание, если значения высоты остаточного прогиба соответствуют 0,6–1,7 мм, а значения стандартной длины остаточного прогиба – 350–550 мм [1].

**Жесткость.** Сущность метода испытания на жесткость заключается в определении нагрузки на переднюю и заднюю части лыжи при заданном прогибе. Точка приложения нагрузки для передней части лыжи зависит от типа хода (для конькового – 170 мм, для классического – 200 мм), точка приложения нагрузки от заднего конца лыжи – 50 мм. Лыжу зажимают в устройство и прикладывают квазистатическую нагрузку до тех пор, пока стрела прогиба не будет соответствовать  $(30 \pm 0,5)$  мм. После чего измеряют значение



нагрузки в ньютонах с погрешностью измерения  $\pm 2$  [1, 6].

Лыжа считается выдержавшей испытание, если жесткость передней ее части равна (1,33–2,00) Н/мм, а жесткость задней части лыжи – (1,66–2,66) Н/мм [1].

*Усталость.* Сущность метода испытания на усталость заключается в определении показателя усталости в средней части лыжи при циклическом нагружении. Лыжу помещают в испытательное устройство. Опоры *a* и *b* устанавливают в зависимости от длины лыжи.

Лыжу подвергают 50 000 циклам нагружения с частотой 2 или 3 Гц [1, 7].

Результаты испытаний выражают через показатель усталости, который вычисляют в процентах по следующей формуле [1]:

$$K_h = \frac{h_B - h'_B}{h_B} \cdot 100.$$

где  $h_B$  – высота прогиба средней части ненагруженной лыжи;  $h'_B$  – высота конечного прогиба.

По результатам испытания не менее трех пар лыж вычисляют среднее арифметическое значение показателя усталости. Лыжи считают выдержавшими испытание, если на их поверхности не появилось повреждений и показатель усталости составляет не более 60% [1].

*Прочность.* Сущность метода определения прочности заключается в определении сопротивления передней и средней частей лыжи разрушению под действием квазистатической нагрузки. Лыжу устанавливают на опоры и прикладывают нагрузку. Точка приложения нагрузки при определении прочности передней части лыжи находится на расстоянии 175 мм от начала подъема носка, при определении прочности средней части лыжи – на расстоянии 80 мм назад от центра тяжести [1].

Значение разрушающей нагрузки для передней части лыжи должно быть не менее 784 Н, для средней части – зависит от длины лыжи (1766 Н – для лыж длиной 1650 и 1750 мм, 2354 Н – для лыж 1850 и 1950 мм, 2943 Н – для лыж 2050, 2150 и 2250 мм) [1].

Помимо нормативных значений, изложенных в стандартах, в настоящее время широко применяются критерии Фишера. Из них выделяют следующие показатели: FA, HR и SVZ [8].

FA (индекс жесткости) – это количество килограммов, которые нужно приложить в 7 см ниже точки центра тяжести, для сжатия лыжи до зазора в 0,2 мм [8].

HR – зазор в миллиметрах, который остается после нажима на лыжу половиной веса средне-статистического лыжника. Нагрузка прилагается на лыжу в 7 см ниже точки баланса. Оставшийся

зазор и есть HR. Проще говоря, это жесткость мысков и пяток лыжи. Например, если взять лыжи с одинаковым FA, но разным HR, лыжа с большим HR будет продавливаться более равномерно, а с меньшим – сначала легко, но дожать будет сложнее. С большим HR – большая дуга, более выгнутая лыжа, с меньшим HR – меньшая дуга, колодка ближе к лыжне в фазе проката. Низкая колодка особенно важна неопытным лыжникам. В классической лыже облегчит держание, а в коньковой улучшит стабильность в прокате [8].

SVZ – характеристика, показывающая, насколько лыжа отличается от идеального соотношения HR и FA. Значение применяется в производстве для проверки качества и подбора лыж в пары [8].

Приведенные выше показатели важны для подбора лыж под конкретного спортсмена.

Помимо указанных выше, есть ряд характеристик, которые не регламентируются. Из них можно выделить крыловатость.

Значение крыловатости определяют измерением максимального зазора между горизонтальной плоскостью и ребром скользящей поверхности в плоскости касания носка лыжи при прижатой пятке. Измерения проводят с помощью набора щупов или металлической линейки. В производственных условиях она измеряется визуально на плоской плите в виде бруса, склеенного из отдельных пластин. Также может применяться установка для измерения крыловатости (рис. 2) [9].

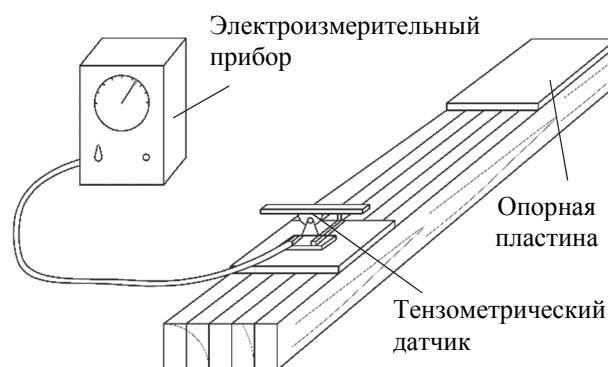


Рис. 2. Схема установки

Одной из важнейших характеристик лыж является скольжение. Трение между лыжей и снегом является предельно сложным процессом, так как на него оказывает влияние множество факторов: температура снега, температура воздуха, материал скользящей поверхности, тип структуры, нанесенной на скользящую поверхность, применяемая мазь. Для определения скольжения лыжи применяют следующие методы исследований: оптический с захватом движений;



скоростная видеосъемка; дистанционная тензодинамография; расчетно-графические методы; методы математической статистики.

В оптическом методе использовался лазерный дальномер, с помощью которого отслеживалась контролируемая точка луча в процессе перемещения светоотражающей панели, связанной с тестируемой парой лыж. Передача данных осуществлялась по беспроводному каналу в ПК, установленном в зоне проведения испытаний. Обработка данных осуществлялась с помощью программ Microsoft Excel и Matlab.

*Тест «откатка» с использованием стандартного груза (60 кг).* Салазки начинали движение с места под действием силы тяжести, преодолевая отрезок дистанции до полной остановки. Лазерным дальномером фиксировались данные за 30 м дистанции. После каждого спуска салазки возвращались на линию старта. Тест повторялся 6 раз для каждой пары лыж. По результатам испытания определяют: среднюю скорость по длине склона, наибольшую скорость на склоне, время достижения наибольшей скорости после старта, время достижения скорости 4,5 м/с после старта, положение точки на склоне при достижении скорости 4,5 м/с после старта, коэффициент вариации для каждого параметра.

*Тест «откатка» с участием спортсмена.* По сигналу спортсмен начинал движение с места без мышечных усилий под действием силы тяжести, преодолевал отрезок дистанции до полной остановки. Лазерным дальномером фиксировались данные за 30 м дистанции. После каждого спуска спортсмен возвращался на линию старта. Тест повторялся 6 раз с каждой парой лыж. По результатам испытания определяли: среднюю скорость по длине склона, наибольшую скорость на склоне, время достижения наибольшей скорости после старта, время достижения скорости 3,5 м/с после старта, положение точки на склоне при достижении скорости 3,5 м/с после старта, коэффициент вариации для каждого параметра.

Коэффициент вариации рассчитывается для каждого исследуемого параметра пары лыж и

выражает степень стабильности проката лыж. Коэффициент вариации, стремящийся к 0, отражает высокую степень стабильности.

Для регистрации упругих деформаций лыж при взаимодействии спортсмена с опорой использовались закрепляемые на лыжах интеллектуальные датчики. Каждый датчик размещался на расстоянии 125 мм вперед от центра тяжести лыжи. По каналу беспроводной передачи данных Bluetooth информация об упругих деформациях передавалась на устройство-приемник в виде текстового документа в формате txt.

*Тест на качество работы лыж.* Спортсмен занимал исходное положение в сторону направления движения на расстоянии 10 м от линии старта для разгона. По сигналу включалась видеозапись, и спортсмен начинал преодолевать дистанцию коньковым одновременным одношажным ходом, стараясь поддерживать одинаковую скорость и прилагать одинаковые усилия при отталкивании. На каждой паре лыж спортсмен выполнял по 5 попыток. По результатам обработки данных параметров движений определялись: продолжительность каждого двигательного цикла, продолжительность фаз скольжения, упругие деформации лыж.

**Заключение.** Подводя итог проведенного анализа показателей качества лыж, можно отметить, что показатели можно условно разделить на регламентируемые и нерегламентируемые.

К регламентируемым относятся эксплуатационные показатели, установленные стандартом ГОСТ 30045–93 (остаточный прогиб, жесткость, прочность, усталость при циклическом нагружении). И к другому виду можно отнести показатели одного из ведущих мировых производителей лыж – компании «Fisher», которыми руководствуются спортсмены.

Исходя из современных требований к лыжной продукции, стандарт, срок действия которого составляет более 25 лет, требует доработки, с целью полного охвата всего перечня показателей качества лыж.

### Литература

1. Лыжи спортивно-беговые. Методы испытаний: ГОСТ 30045–93. Введ. 01.01.1995. М.: Изд-во стандартов, 1994. 15 с.
2. Лыжи беговые [Электронный ресурс] / Требования к экипировке, спортивному инвентарю и оборудованию. URL: <http://dussh-uste.baikaledu.ru/wp-content/uploads/2015/09/1.3.-Требования-к-экипировке-спортивному-инвентарю-и-оборудованию.pdf> (дата обращения: 05.10.2019).
3. Лыжи. Определение массы и положения центра тяжести: ГОСТ 30199–94. Введ. 01.01.1996. М.: Издательство стандартов, 1995. 7 с.
4. Cross-country skis – Determination of mass and location of balance point: ISO 7138:2017. Standards Publishing, 2017. 8 p.
5. Лыжи. Технические условия: ГОСТ 17043–1990. Введ. 09.01.1990. М.: Изд-во стандартов, 1990. 22 с.

6. Cross-country skis – Determination of elastic properties: ISO 7139:2017. Standards Publishing, 2017. 10 p.
7. Cross-country skis – Determination of fatigue indexes – Cyclic loading test: ISO 7798:2017. Standards Publishing, 2017. 12 p.
8. training365.ru [Электронный ресурс] / Все о цифрах на лыжах Fischer. URL: <https://training365.ru/vse-o-cifrax-na-lyzhax-fischer/> (дата обращения: 08.10.2019).
9. Механическая обработка древесины. Перспективы развития производства лыж в стране: обзор информации по материалам Всесоюз. науч.-техн. совещания. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1985. 52 с.

### References

1. GOST 30045–93. Cross-country skiing. Test methods. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1994. 15 p. (In Russian).
2. *Lyzhi begovyye. Trebovaniya k ekipirovke, sportivnomu inventaryu i oborudovaniyu* [Cross country skis. Requirements for equipment, sports equipment and equipment]. Available at: <http://dussh-uste.baikaledu.ru/wp-content/uploads/2015/09/1.3.-Требования-к-экипировке-спортивному-инвентарю-и-оборудованию.pdf> (accessed 05.10.2019).
3. GOST 30199–94. Skiing. Determination of mass and position of the center of gravity. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1995. 7 p. (In Russian).
4. ISO 7138:2017. Cross-country skis – Determination of mass and location of balance point. Standards Publishing, 2017. 8 p.
5. GOST 17043-1990. Skiing. Technical conditions. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1990. 22 p. (In Russian).
6. ISO 7139:2017. Cross-country skis – Determination of elastic properties. Standards Publishing, 2017. 10 p.
7. ISO 7798:2017. Cross-country skis – Determination of fatigue indexes – Cyclic loading test. Standards Publishing, 2017. 12 p.
8. training365.ru. *Vse o tsifrakh na lyzhakh Fischer* [All About Fischer Ski Numbers]. Available at: <https://training365.ru/vse-o-cifrax-na-lyzhax-fischer/> (accessed 05.10.2019).
9. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny. Perspektivy razvitiya proizvodstva lyzh v strane: obzor informatsii po materialam Vsesoyuznogo nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya* [Overview of information on the materials of the All-Union Scientific and Technical Meeting]. Moscow, VNIPIEIllesprom Publ., 1985. 52 p.

### 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 факультета заочного образования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: prohor@tut.by

### Information about of authors

**Polkhovskiy 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 of the Faculty of Extramural Studies. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohor@tut.by

*Поступила 27.09.2019*

УДК 684.4(091)(476)

**А. А. Барташевич, С. В. Шетько, С. С. Гайдук**  
Белорусский государственный технологический университет

### **СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕБЕЛИ В БЕЛАРУСИ**

В статье кратко отмечены основные этапы эволюции форм и конструкций мебели в Беларуси, а также состояние в настоящее время. Мебель Беларуси не имеет такой истории, какая есть в развитых странах Запада или в России. В Беларуси преобладало сельское население, которое жило в условиях натурального хозяйства. Поэтому большинство мебельной продукции изготавливалось самостоятельно и не обладало высокими художественными свойствами. Началом белорусской мебельной промышленности можно считать 20-е гг. XX века, когда стали появляться деревообрабатывающие и мебельные предприятия. В Беларуси организованное проектирование мебели началось с создания в 1957 г. проектно-конструкторского бюро при Министерстве лесной и деревообрабатывающей промышленности. Долгое время ОАО «Минскпроектмебель» являлось ведущей организацией в области проектирования мебели. Появление большого количества частных мебельных предприятий в 90-х гг. привело к тому, что проектирование из «Минскпроектмебели» ушло к самим предприятиям. Практически все мебельные предприятия имеют группы дизайнеров-конструкторов и успешно справляются с разработкой новых изделий. Увеличение количества мебельных предприятий требует постоянного роста количества специалистов, поэтому в Белорусском государственном технологическом университете была организована специализация «Технология и дизайн мебели». Одним из важнейших направлений деятельности кафедр университета является издание литературы и разработка нормативно-технической документации в области деревообработки и мебельного производства. Организующую роль в производственной и инновационной деятельности в деревообработке выполняет производственно-торговый концерн «Беллесбумпром». Он объединяет крупные предприятия различных форм собственности, которые выпускают широкий ассортимент изделий из древесины, являются основными потребителями заготавливаемой древесины.

**Ключевые слова:** мебель, проектирование, производство, подготовка кадров, наука, ОАО «Минскпроектмебель», технологический университет, концерн «Беллесбумпром».

**A. A. Bartashevich, S. V. Shet'ko, S. S. Haiduk**  
Belarusian State Technological University

### **FORMATION AND DEVELOPMENT OF FURNITURE MANUFACTURE IN BELARUS**

The article briefly highlights the main stages of the evolution of furniture forms and designs in Belarus, as well as the current state of the art. The furniture of Belarus does not have the same history as in the developed countries of the West or in Russia, as the rural population prevailed here, who lived in subsistence farming. Therefore, most furniture products were manufactured independently and did not have high artistic properties. The beginning of the Belarusian furniture industry can be considered the 20s. XX century, when woodworking and furniture enterprises began to appear. In Belarus, an organized furniture design began with the creation in 1957 of a design bureau under the Ministry of Forestry and Woodworking. For a long time, Minskproektmebel was a leading organization in the field of furniture design. The emergence of a large number of private furniture companies in the 90s. led to the fact that the design of the Minskproektmebeli went to the enterprises themselves. Almost all furniture enterprises have a group of designers and designers and successfully cope with the development of new products. The increase in the number of furniture enterprises requires a constant increase in the number of specialists, which is why the specialization "Furniture Technology and Design" was organized at the Belarusian State Technological University. One of the most important activities of the university departments is the publication of literature and the development of regulatory and technical documentation in the field of woodworking and furniture production. The organizing role in production and innovation in woodworking is performed by the Bellesbumprom production and trading concern. It unites large enterprises of various forms of ownership, which produce a wide range of wood products, and are the main consumers of harvested wood.

**Key words:** furniture, design, production, training, science, Minskproektmebel OJSC, university, Bellesbumprom concern.

**Введение.** По данным Министерства статистики, годовой объем производства мебели в Республике Беларусь за 2018 г. составил порядка 1,60 млрд бел. руб., а экспорт белорусской мебели – 533 млн долл. США [1]. По данным Центра промышленных исследований CSIL Milano, Республика Беларусь занимает 37-е место по экспорту из 100 и имеет широкие возможности для его повышения [2, 3]. Увеличение экспортного потенциала происходит за счет постоянного роста количества мебельных и деревообрабатывающих предприятий, в основном частной формы собственности. В мебельной промышленности, как и в любой другой, есть ряд вопросов, решение которых имеет важное практическое значение. Наиболее значимые из них: вопросы, связанные с проектированием мебели; подготовка кадров для мебельной промышленности; выпуск учебной литературы и нормативной документации; кооперация предприятий с целью повышения конкурентоспособности на внутренних и внешних рынках.

**Основная часть.** Мебель Беларуси не имеет такой истории, какая есть в развитых странах Запада или в России. В прошлом преобладало сельское население Беларуси, и крестьянин длительное время жил в условиях натурального хозяйства. Самостоятельно строил дом, мастерил простейшую мебель, утварь. В XIX в. в Беларуси еще третья часть печей не имела дымоходной трубы. Для белорусской мебели не были характерны ни облицовка, ни полировка, ни инкрустация, а тем более позолота. Иногда мебель расписывали, особенно свадебные сундуки. Из других стран мебель привозили в Беларусь в ограниченном количестве. В помещичьих усадьбах крепостные крестьяне, выполнявшие мебельные работы, а также мастера, приходившие из местечек и городов, вынуждены были подстраиваться под вкусы хозяев-заказчиков и создавали вещи по образцам, увиденным в других помещичьих усадьбах и домах богачей.

Машинное производство мебели в Беларуси возникло в конце XIX – начале XX в. Однако мелкая кустарно-ремесленная промышленность еще преобладала над фабрично-заводской.

Первые годы советской власти совпали с периодом конструктивизма, который стремился создать простые формы.

Основы мебельной промышленности начинают закладываться в конце 20-х гг. прошлого века. Об ее уровне и уровне деревообрабатывающей промышленности в целом можно судить по следующим данным. К 40-м годам XX в. в Беларуси было 3 деревообрабатывающих комбината, 16 фанерных заводов, 4 спичечные и 5 мебельных фабрик. Мебель изготавливалась по устаревшим формам модерна и конструктивизма.

Переход архитектуры на путь украшательства в 30-х гг. привел к эклектизму и в мебельном искусстве. Старые формы с избыточным украшением оказались слишком сложными и непосильными для существующей технологии с простым оборудованием. В композиционном отношении любое изделие выполнялось как законченное целое, не позволявшее осуществлять блокировку с другими. Отдельные изделия, выполнявшиеся на различных фабриках, не обеспечивали архитектурно-художественного единства интерьера. Так продолжалось и в послевоенное время.

В 50-х гг. произошел отказ от украшательства в архитектуре. Применение панельного домостроения и переход к квартирам посемейного заселения потребовал разрешения противоречий между старыми принципами мебелировки и новыми требованиями к жилищу. Понадобилось создание новой мебели [4–6].

*ОАО «Минскпроектмебель».* В Беларуси организованное проектирование мебели началось с создания в 1957 г. проектно-конструкторского бюро при Министерстве лесной и деревообрабатывающей промышленности. В 1963 г. на базе этого бюро и Минской мебельной фабрики «Родина» было организовано экспериментальное конструкторско-технологическое бюро мебели (ЭКТБМ). В 1971 г. оно было реорганизовано в проектно-производственное объединение мебели, которое в 1975 г. стало Минским научно-производственным мебельным объединением, известным как «Минскпроектмебель» (последнее преобразование в ОАО «Минскпроектмебель» произошло в 1997 г. В 1994 г. на базе проектно-конструкторских служб в составе объединения создано обособленное хозяйственное подразделение – проектно-конструкторское технологическое бюро мебели (ПКТБМ).

В ОАО «Минскпроектмебель», в частности ПКТБМ, работали известные дизайнеры и конструкторы, которые впоследствии стали организаторами Белорусского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института технической эстетики (Грубин Б. Н., Мельников А. Г.) и доцентами Белорусской государственной академии искусств (Климин Р. М., Кривенок О. В., Харламов И. П.).

Кроме проектирования мебели, в ОАО «Минскпроектмебель» осуществлялись разработки новых материалов, технологических процессов, нормативной базы мебельного производства.

Многие годы дизайнерские и конструкторские направления в производстве мебели определяли главный архитектор ОАО «Минскпроектмебель», заслуженный работник промышленности Республики Беларусь Макаревич Н. В., начальник художественно-конструкторского отдела

Пихоцкий Л. И., директор ПКТБМ Минин Н. А. Большой вклад в конструкторско-технологическое развитие мебели внесли главные инженеры ОАО «Минскпроектмебель» Лобанов Л. А., Пухальский Е. И., заведующий технологическим отделом кандидат технических наук Ловкис И. В., главные конструкторы ПКТБМ Хресаненков В. М., Левков С. А.

Многообразие выпускаемой мебели требует постоянного контроля. Качество мебели проверяется на соответствие единым нормам и требованиям в рамках Технического регламента Таможенного союза «О безопасности мебельной продукции» [7], которые подтверждаются сертификационными испытаниями и декларированием. Они проводятся в органе по сертификации ПКТБМ (длительное время его возглавляет Н. Р. Кущева), в Слуцком центре стандартизации и метрологии и др.

Кроме ОАО «Минскпроектмебель», проектирование мебели выполняли конструкторско-технологические отделы при Министерстве местной промышленности и Министерстве бытовых услуг. Качество проектирования мебели для предприятий бытовых услуг населению было на весьма высоком профессиональном уровне (дизайнеры Протасов Н. В. и Павловский В. И.) [5].

В последние годы проектирование мебели из «Минскпроектмебели» ушло к самим предприятиям. Практически все мебельные предприятия имеют группы дизайнеров-конструкторов и успешно справляются с разработкой новых изделий.

В Беларуси функционируют сотни частных мебельных предприятий. Они выпускают 2/3 всей мебели Беларуси. Практически все частные предприятия имеют свои дизайнерские службы или отдельных дизайнеров. Их уровень проектирования мебели весьма высокий (Тимбер, Явид, Студия К-мебель, Дельта и др.).

*Подготовка кадров. Наука. БГТУ.* До 90-х гг. прошлого века стабильное положение предприятия обеспечивало постоянное отставание предложения от спроса. В Белорусском государственном технологическом университете (БГТУ) годами изучалась технология мебельного производства без рассмотрения конструктивных особенностей. В дизайне мебели не было необходимости, и вопросы конструирования мебели практически не изучались. На все конструирование отводилось 2 ч. О дизайне не было даже упоминания. Термин «дизайн» был не наш, капиталистический.

Положение изменилось после получения права на самостоятельное (индивидуальное) производство мебели. В считанные месяцы возникли сотни новых частных мебельных предприятий. Предложение стало опережать спрос.

Вот в это время появилась потребность в дизайнерах и дизайнерских методах проектирования мебели.

Первое учебное пособие в СССР для мебельщиков по основам художественного конструирования (термин «дизайн» не принимался два десятка лет) было издано в 1978 г. в БГТУ, а первый учебник «Основы художественного конструирования» появился в 1984 г., также в БГТУ. По конструированию мебели первое учебное пособие для учреждений высшего образования было выпущено в 1987 г., которое многие годы являлось единственным. Затем последовало издание книги «Декоративные элементы и приемы декорирования мебели» (1988 г.) по заказу Министерства бытового обслуживания.

В 1992 г. кафедрой технологии изделий из древесины (ныне – кафедра технологии и дизайна изделий из древесины) была организована специализация «Технология и дизайн мебели», вначале как факультативная, а на следующий год она стала плановой. Последовало издание подготовленной кафедрой учебной литературы [8–14]: «Конструирование мебели» (1998 г.), «История интерьера и мебели» (2002 г., переиздана в Российской Федерации в 2003 г.), «Основы композиции и дизайна мебели» (2003 и 2012 гг., переизданы в Российской Федерации в 2003 и 2014 гг.), «Конструирование мебели» (2006 г., переиздано в Российской Федерации в 2015 г.), «Конструирование мебели и столярно-строительных изделий» (2017 г.), «Основы композиции в дизайне» (2019 г.).

Российский научно-издательский центр «ИНФРА-М» заключил договор с кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины на переиздание в России в 2019–2020 гг. 11 книг по дизайну, конструированию и технологии мебели и изделий из древесины.

Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений подготовки специалистов является внедрение систем автоматизированного проектирования мебели и управления технологическими процессами [14, 15], что позволяет значительно сократить время разработки и выпуска нового изделия на рынок.

На кафедре ведется также подготовка магистрантов и аспирантов.

Одной из наиболее актуальных проблем деревообрабатывающей отрасли в целом и мебельной промышленности в частности является обновление нормативно-технической документации. В мебельной отрасли многие нормативные документы имеют более чем 30-летнюю давность, а на многие новые материалы и технологии их нет вообще. Разработчик и издатель прошлых нормативных документов (Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт

мебели (ВПКТИМ), Россия) перепрофилировал свою деятельность. Фактически прекратил разработки в области новых технологий и нормативных документов и «Минскпроектмебель».

В связи с этим многие функции стал выполнять БГТУ.

В 2010 г. кафедрой издана книга «Технология изделий из древесины» в двух частях: часть 1 «Типовые технологические режимы» и часть 2 «Нормы расхода сырья и материалов». Обе книги написаны на основе анализа существующих нормативных документов и разработки новых путем анализа технико-технологического уровня передовых предприятий Беларуси. Они утверждены в качестве нормативных документов.

В 2014 г. издана книга «Технология изделий из древесины», в которой изложены технологические режимы и оборудование всех основных видов переработки древесины. В ней приведены технические условия на модифицированные клеевые и лакокрасочные материалы, уплотненную древесину мягколиственных пород, уплотненный шпон и технологические режимы их применения, технологический регламент изготовления многослойных паркетных покрытий с лицевым слоем из уплотненной древесины. Издания подготовлены на основании научно-исследовательских работ, которые выполнялись совместно с Институтом тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси.

*Инновации и производство мебели. Концерн «Беллесбумпром».* Республика Беларусь является лесной державой, стратегической целью которой является рациональное и комплексное использование лесных богатств. Организующую роль в производственной и инновационной деятельности в деревообработке выполняет концерн «Беллесбумпром». Он объединяет крупные предприятия различных форм собственности, которые выпускают широкий ассортимент изделий из древесины, являющихся основными консолидированными потребителями заготавливаемой древесины.

Деятельность предприятий концерна подразделяется на три сектора: деревообработка, производство мебели и целлюлозно-бумажная промышленность. Сектор деревообработки включает производство деловой древесины, деревянных домов, столярно-строительных изделий и конструкций, фанеры, древесных плит, спичек, напольных ламинированных покрытий и др.

Сектор производства мебели представлен 20 предприятиями, которые выпускают до 40% от общего объема производимой мебели в стране. Ассортимент выпускаемой мебели охватывает все виды: от простой мебели малых форм из недорогих материалов до высокохудожественных

наборов и гарнитуров из натуральной древесины с использованием различных приемов декорирования.

Мебель белорусских производителей экспортируется более чем в 50 стран мира. А объем экспорта составляет почти 70% от всей производимой. Функционирует разветвленная дилерская сеть предприятий в различных городах и странах. Работают торговые дома и фирменные магазины. Предприятия концерна – постоянные участники выставок, которые проходят в России, странах СНГ, Германии, Франции, Италии, Турции и др. Концерн является ежегодным организатором в Беларуси мебельных выставок, которые стали международными.

Мебельные предприятия оснащены высокотехнологичным оборудованием, что позволяет при использовании собственного сырья и наличии квалифицированных кадров создавать в широком ассортименте комфортабельную бытовую и специальную мебель дизайнерского уровня.

Приоритетами для дальнейшего развития отрасли определены: модернизация специализированных мебельных производств, стимулирование инвестиционной активности, повышение эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новых моделей мебельной продукции, сохранение и укрепление конкурентных позиций на традиционных рынках и освоение новых направлений экспорта. В настоящее время концерном реализуется Концепция развития мебельного производства на 2015–2020 гг. и разрабатывается новая.

*Современная мебель предприятий Беларуси.* К современной мебели относится та, которая выпускается независимо от того, когда она была спроектирована и когда начался ее выпуск. Есть изделия, выпуск которых начался в 1961 г. (стол-книга, Молодечненская мебельная фабрика) или в 1970 г. (плоскоклееный стул, ОАО «Мостовдрев»). Они относятся к современной мебели, так как выпускаются и сегодня.

В прошлом, вплоть до середины XIX в., в архитектуре и мебели имело место единство стиля. С началом машинного производства оно исчезло, и с середины XIX в. наступило торжество эклектики, которое продолжалось до начала XX в. Эклектику сменил модерн (новый, современный стиль), его – конструктивизм (в основе конструкция), затем функционализм и другие «измы».

В современной мебели сегодня нет единого, чистого стиля. Фактически мы имеем эклектику, хотя она более качественная и более современная по сравнению с эклектикой XIX в. В одно и то же время мебель производится разнообразных дизайнерских направлений и под различные исторические стили, а это и есть эклектика.





Рис. 1. Мебель для столовой в стиле барокко, ОАО «Гомельдрев»



Рис. 4. Диваны, ЗАО «Молодечномебель»



Рис. 2. Набор мебели для спальни, ХК «Пинскдрев»



Рис. 5. Мебель для спальни, «Студия К-мебель»



Рис. 3. Набор мебели для спальни, ОАО «Слониммебель»



Рис. 6. Мебель для отдыха, ЧУПП «Стенли»

В современной белорусской мебели встречаются: этнографичное направление (стиль «кантри» – сельский, деревенский, отпрыск романского стиля); стиль барокко (ОАО «Гомельдрев»), мебель демократичного направления (на основе классического стиля), основной здесь материал – различные плиты. В мебели художественного направления могут встречаться фрагменты различных исторических стилей или приемы художественной обработки древесины (см. приведенные примеры мебели различных предприятий Беларуси на рис. 1–6).

**Заключение.** Как видно из представленного, мебельная промышленность Беларуси интенсивно развивается, что подтверждается постоянным ростом количества мебельных предприятий, увеличением выпускаемой продукции и ростом экспортного потенциала. Немаловажную роль в этом развитии играет БГТУ, являющийся поставщиком специалистов для данной отрасли промышленности. Особенностью современной мебели Беларуси является то, что нет единого и чистого стиля. Фактически мы имеем эклектику.

### Литература

1. Статистический ежегодник / Нац. статист. ком. Респ. Беларусь. Минск: Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, 2019. 472 с.
2. Зоткина А. Н. Тенденции развития рынка мебели Республики Беларусь в условиях мирового финансово-экономического кризиса // Научные труды БГЭУ. 2010. С. 158–164.
3. Европейский гарнитур: чем обставлен глобальный рынок мебели. URL: <https://neg.by/novosti/otkrytj/evropejskij-garnitur> (дата обращения: 07.09.2019).
4. Барташевич А. А., Аладова Н. И., Романовский А. М. История интерьера и мебели. Ростов н/Д: Феникс, 2004. 400 с.
5. Рябушин А. В. Научно-технический прогресс, урбанизация, жилище. М.: ВНИИТЭ. 1974. 260 с.
6. Барташевич А. А., Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2015. 437 с.
7. Барташевич А. А. Технология производства мебели. Ростов на/Д: Феникс, 2003. 480 с.
8. Барташевич А. А., Трофимов С. П. Конструирование мебели. Минск: Современная школа, 2006. 335 с.
9. О безопасности мебельной продукции: ТР ТС 025/2012. Введ. 15.06.2012. М.: Совет Евраз. экон. комис., 2012. 57 с.
10. Барташевич А. А. Конструирование мебели и столярных изделий. Минск: РИПО, 2015. 276 с.
11. Барташевич А. А., Онегин В. И. Конструирование изделий из древесины. Основы композиции и дизайна. Ростов н/Д: Феникс, 2014. 208 с.
12. Барташевич А. А., Пардаев А. С. Конструирование мебели с основами дизайна. Минск: БГТУ, 2008. 41 с.
13. Барташевич А. А. Композиция и дизайн мебели: учебник. Минск: Тесей, 2012. 180 с.
14. Трофимов С. П., Пардаев А. С. Конструирование и производство столярно-строительных изделий. Минск: БГТУ, 2011. 521 с.
15. Бунаков П. Ю., Рудин Ю. И., Стариков А. В. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов. М.: ДМК Пресс, 2007. 270 с.

### References

1. *Statisticheskiy ezhegodnik* [Statistical Yearbook]. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po imushchestvy Respubliki Belarus' Publ., 2018. 193 p.
2. Zotkina A. N. Trends in the Development of the Furniture Market of the Republic of Belarus in the Conditions of the World Financial and Economic Crisis. *Nauchnyye trudy BGEU* [Scientific Works of BSEU], 2010, pp. 158–164 (In Russian).
3. *Yevropeyskiy garnitur: chem obstavlen global'nyy rynek mebeli* [European set: how the global furniture market is furnished]. Available at: <https://neg.by/novosti/otkrytj/evropejskij-garnitur> (accessed 06.02.2019).
4. Bartashevich A. A., Aladova N. I., Romanovskiy A. M. *Istoriya inter'yera i mebeli* [History of interior and furniture]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2004. 400 p.
5. Ryabushin A. V. *Nauchno-tekhnicheskij progress, urbanizatsiya, zhilishche* [Scientific and technological progress, urbanization, housing]. Moscow, VNIITE Publ., 1974. 260 p.
6. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 437 p.
7. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli* [Technology of furniture production]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2003. 480 p.
8. Bartashevich A. A., Trofimov S. P. *Konstruirovaniye mebeli* [Furniture design]. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 335 p.
9. TR TS 025/2012. On the safety of furniture products. Moscow, Sovet Yevraziyskoy ekonomicheskoy komissii Publ., 2012. 57 p. (In Russian).
10. Bartashevich A. A. *Konstruirovaniye mebeli i stolyarnyykh izdeliy* [Construction of furniture and joinery]. Minsk, RIPO Publ., 2015. 276 p.
11. Bartashevich A. A., Onegin V. I. *Konstruirovaniye izdeliy iz drevesiny. Osnovy kompozitsii i dizayna* [Designing wood products. Basics of composition and design]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2014. 208 p.
12. Bartashevich A. A., Paradaev A. S. *Konstruirovaniye mebeli s osnovami dizayna* [Designing furniture with the basics of design]. Minsk, BGTU Publ., 2008. 41 p.
13. Bartashevich A. A. *Kompozitsiya i dizayn mebeli* [Composition and design of furniture]. Minsk, Tesey Publ., 2012. 180 p.

14. Trofimov S. P., Pardaev A. S. *Konstruirovaniye i proizvodstvo stolyarno-stroitel'nykh izdeliy* [Design and manufacture of joinery]. Minsk, BGTU Publ., 2011. 521 p.

15. Bunakov P. Yu., Rudin Yu. I., Starikov A. V. *Osnovy avtomatizirovannogo proyektirovaniya izdeliy i tekhnologicheskikh protsessov* [Fundamentals of computer-aided design of products and technological processes]. Moscow, DMK Press Publ., 2007. 270 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

**Шетько Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tidid@belstu.by

**Гайдук Сергей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: haiduk@belstu.by

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

**Bartashevich Aleksander Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Doctor 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

**Shet'ko Sergey Vasil'yevich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tidid@belstu.by

**Haiduk Sergey Sergeevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: haiduk@belstu.by

*Поступила 14.10.2019*

УДК 625.731

**Е. В. Ручкина, С. В. Шетько**

Белорусский государственный технологический университет

**КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С БУМАЖНЫМ СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

Статья посвящена исследованиям эксплуатационных показателей трехслойных сотовых панелей с бумажным сотовым наполнителем. Установлены и описаны два основных механизма разрушения панели: потеря устойчивости бумажного сотового наполнителя (внутреннего слоя панели) в краевых зонах образца от нормальных и сдвиговых деформаций и межслойный сдвиг между обшивкой и наполнителем. Установлено, что показатели деформативности бумажного сотового наполнителя, а именно критические деформации сжатия и сдвига наполнителя, являются определяющими критериями оценки работоспособности трехслойных панелей в целом, так как обуславливают характер их разрушения и могут быть использованы в конструкторских расчетах при проектировании мебели.

В статье предлагается в качестве критериев для оценки эффективности использования менее прочных трехслойных панелей применять относительные показатели прочности и жесткости панелей. Это позволит сопоставлять эксплуатационные показатели различных древесных материалов и производить их сравнительную оценку.

**Ключевые слова:** сотовая панель, изгиб, критерии оценки, прочность, жесткость, бумажный наполнитель.

**Ye. V. Ruchkina, S. V. Shet'ko**

Belarusian State Technological University

**CRITERIA FOR EVALUATING OPERATING INDICATORS OF THREE-LAYER PANELS WITH PAPER HONEYCOMB CORE**

The article is devoted to studies of the operational performance of three-layer panels with paper honeycomb core. Two main mechanisms of panel destruction were established: the loss of stability of the paper honeycomb core (the inner layer of the panel) in the marginal zones of the sample from normal and shear deformations and the interlayer shear between the skin and the core. It has been established that the deformability indicators of a paper honeycomb core, namely: critical compression and shear strains of a core, are the determining criteria for evaluating the performance of three-layer panels as a whole, since they determine the nature of their destruction, and can be used in design calculations when designing furniture.

The article proposes to use relative indicators of panel strength and stiffness as criteria for evaluating the effectiveness of using less durable three-layer panels. This will allow us to compare the performance of various wood materials and make a comparative assessment.

**Key words:** honeycomb panel, bend, criteria for evaluation, strength, stiffness, paper core.

**Введение.** В современном мире стоимость мебели определяют не только материалы, используемые для ее производства, но и дизайн, и соответствие модным тенденциям. Хитом мебельного рынка являются массивные изделия с использованием в конструкциях столов, стеллажей, тумб и шкафов утолщенных горизонтальных и вертикальных деталей. Применение традиционных древесных материалов для получения массивных деталей (толщиной более 30 мм) делает мебель слишком тяжелой и громоздкой. Следовать моде в мебельной индустрии сегодня возможно при использовании облегченных мебельных плит, наружные слои которых представляют собой древесностружечную или древесноволокнистую плиту тол-

щиной от 3 до 8 мм, а внутренний слой – бумажный сотовый наполнитель.

Бумажный сотовый наполнитель известен отечественным производителям дверей с давних времен. Широкое применение наполнителя было связано со строительством «хрущевок». Большие объемы возведения жилья требовали новых технологий, удешевляющих и ускоряющих строительство.

В мебельной промышленности трехслойные панели с бумажным сотовым наполнителем пока не применяются, потому что сложилась многолетняя практика использования древесностружечных плит и древесноволокнистых плит средней плотности. Также на рынке мебели около 40% продукции приходится на импорт,



т. е. наблюдается перспектива развития импортозамещающих производств.

Отечественные производители не проявляют интереса к панелям с бумажным наполнителем по следующим причинам. Во-первых, полагают, что трехслойные панели обладают низкими показателями прочности. Считают, что если внутри сотовой плиты бумага, значит, она легко сминается. Во-вторых, придерживаются мнения о сложной организации производственного процесса изготовления сотовой панели и, как следствие, высокой себестоимости готового материала [1–3].

**Основная часть.** Для исследования была выбрана тонкая древесноволокнистая плита ХДФ толщиной 3 мм. Она использовалась в качестве внешних обшивок панели, для внутреннего слоя применяли бумажный сотовый наполнитель с размерами ячейки 15, 25, 35 мм производства ОАО «Светлогорский ЦКК». Склеивание сотовых панелей осуществляли по технологическому режиму «Склеивание облегченных щитов с бумажным сотовым наполнителем бескаркасной конструкции в однопролетных, многопролетных прессах поливинилацетатным или однокомпонентным полиуретановым клеем», разработанному ранее авторами статьи [4].

Исследование эксплуатационных характеристик трехслойных панелей осуществляли на изгиб по трехточечной схеме (рис. 1), так как изгиб является одной из основных форм нагружения горизонтальных деталей конструкционного назначения в мебели.

Результаты исследований представлены в таблице.

Установлены два основных механизма разрушения панели (рис. 2).



Рис. 1. Схема испытаний на изгиб

**Эксплуатационные показатели сотовых панелей**

Размер ячейки, мм	Высота заполнителя $h_c$ , мм	Нормальные напряжения в обшивках $\sigma$ , МПа	Относительная прочность $\sigma_n$ , МПа	Относительная жесткость панелей $D_x$ , Па·м <sup>4</sup>	Плотность сотовой панели $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	5	6	7
Обшивки из ХДФ, $\delta = 3$ мм, плотность 880 кг/м <sup>3</sup>					
15	15	7,5	23,4	730	253
	25	4,3	18,7	1745	194
	35	2,8	15,6	3200	161
25	15	6,3	20,3	705	245
	25	3,4	16,2	1705	171
	35	2,0	11,8	3120	135
35	15	5,8	19,3	690	234
	25	3,1	14,8	1675	167
	35	1,9	11,9	3070	130

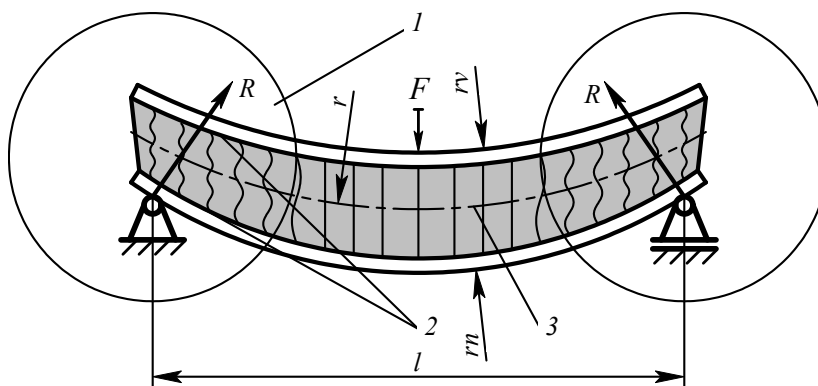


Рис. 2. Плоский изгиб образца по трехточечной схеме нагружения.

Схема деформирования:

- 1 – потеря устойчивости наполнителя при сжатии и сдвиге;
- 2 – сдвиг между наполнителем и обшивкой;
- 3 – упругая линия образца

А именно потеря устойчивости заполнителя в краевых зонах образца 1 от нормальных и сдвиговых деформаций и межслойный сдвиг между обшивкой и заполнителем 2. Межслойный сдвиг с расслоением наблюдается в случае недостатка клеевого материала на границе между обшивкой и заполнителем. Во всех случаях испытаний на изгиб с учетом оптимального расхода клея сдвига между компонентами не наблюдается, однако при уменьшении расхода на 30% и ниже разрушение за счет расслоения преобладает. Как установлено экспериментально, в случае изгиба по трехточечной схеме нагружения наибольшие деформации сжатия  $\delta$  наблюдаются в зоне опор, т. е. в точках приложения реакций связи  $R$ . В случае достижения деформациями сжатия критической величины [1] происходит потеря устойчивости заполнителя, а следовательно, и разрушение панели.

Критерием оценки устойчивости заполнителя на сжатие является уравнение

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h_c} \leq [\varepsilon_{кр}], \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – деформация сжатия;  $\delta$  – изменение высоты сотового заполнителя при сжатии;  $h_c$  – толщина сотового заполнителя;  $\varepsilon_{кр}$  – допускаемая величина деформации сжатия до потери устойчивости боковых стенок заполнителя.

Выявлено, что величина поперечных деформаций сжатия не зависит от относительных размеров трехслойных панелей, а является функцией жесткости обшивок и упругости бумажного заполнителя на сжатие. Таким образом, использование компонентов с большими показателями жесткости приводит к снижению поперечных деформаций сжатия (рис. 3). При этом в качестве критериев жесткости можно использовать доступные в нормативной литературе физико-механические характеристики компонентов, такие как модуль упругости при изгибе  $E_o$  для обшивок и удельный модуль уп-

ругости при сжатии  $E_\delta$  для заполнителя [5], рассчитываемый по формуле

$$E_\delta = k E_c, \quad (2)$$

где  $k$  – степень трансформации сотового заполнителя:  $k = \frac{A_c}{A_n}$ ;  $E_c$  – модуль упругости бумаги на растяжение;  $A_c$  – площадь сотового пакета в сжатом виде;  $A_n$  – площадь панели в плане.

Для традиционных древесных материалов в качестве физико-механических характеристик принято использовать предел прочности и модуль упругости при изгибе. В нашем случае с учетом сложной структуры трехслойной панели по высоте и низкой прочности заполнителя разрушение происходит не вследствие изгиба, поэтому возникает вопрос о сопоставлении эксплуатационных показателей различных древесных материалов [5, 6].

Существуют методики расчетного и экспериментального определения нормальных напряжений растяжения-сжатия в наружных обшивках, при условии неоднородных свойств по высоте панели (формула (3)). В качестве исходных данных используются геометрические размеры элементов в поперечном сечении и модуль упругости компонентов в направлении оси панели.

Для трехслойных панелей нормальные напряжения в слоях обшивки при максимальной изгибающей нагрузке можно использовать для сравнения с напряжениями изгиба в однородных древесных материалах [7].

Наибольшие нормальные напряжения в произвольном слое определяют по формуле

$$\sigma_i = \frac{M_x}{D_x} y_{i\max} E_{zi}, \quad (3)$$

где  $M_x$  – изгибающий момент в сечении;  $D_x$  – осевая жесткость панели при изгибе;  $y_{i\max}$  – наибольшая по модулю ордината точек слоя;  $E_{zi}$  – модуль Юнга в направлении оси балки  $z$ .

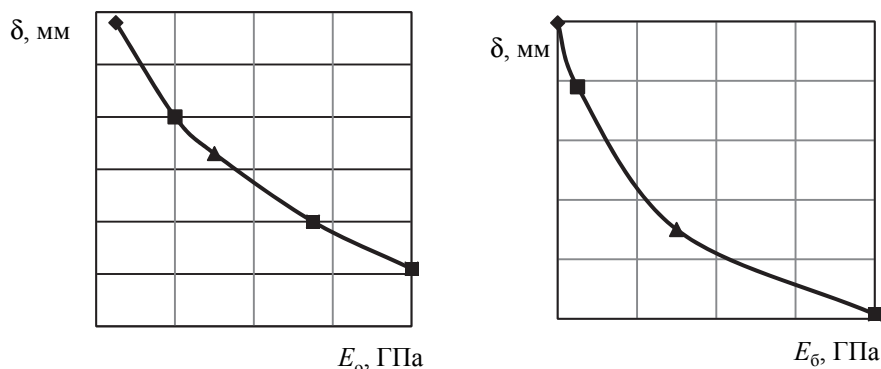


Рис. 3. Зависимость деформации сжатия от упругих характеристик обшивок панели и бумажного заполнителя



Для оценки эффективности использования менее прочных трехслойных панелей можно использовать относительные показатели прочности (формула (2)) панелей.

Относительная прочность панели на изгиб  $\sigma$ , Па:

$$\sigma = \frac{\rho_3}{\rho} \sigma_n, \quad (4)$$

где  $\rho_3$  – плотность обшивки облепченной панели, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность трехслойной панели, кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma_n$  – нормальные напряжения в обшивках панели, Па.

В большинстве литературных источников для описания эксплуатационных характеристик традиционных древесных материалов принято нормировать предельную величину прогиба, при этом размеры образцов, характер и величина нагрузки могут значительно отличаться, что затрудняет производить сравнительную оценку показателей. Однако через величину прогиба и геометрические параметры образцов характеристики материалов можно свести к общему показателю. Взаимосвязь между данными величинами можно определить с помощью уравнения нейтральной оси балки классической механики деформируемого твердого тела. Для большинства схем нагружения существуют конечные уравнения [4, 7, 8, 9]. Так, для панелей, работающих на изгиб от сосредоточенной силы, связь определяется выражением  $f$ :

$$f = \frac{Fl^3}{48D_x}; \quad (5)$$

для нагружения распределенной нагрузкой

$$f = \frac{5ql^4}{384D_x}, \quad (6)$$

где  $q$  – линейно-распределенная по длине панели нагрузка ( $q = pb$ ,  $p$  – давление на поверхность панели).

Величина  $D_x$  называется жесткостью панелей при изгибе и учитывает упругие и геометрические параметры изделия. Для изотропных по объему материалов жесткость определяется произведением  $E_z I_x$ , однако для слоистых материалов процедура расчета данного показателя сложна и осуществляется следующим образом (формулы (7)–(12)).

Деформированное состояние элементов, работающих на изгиб, согласно классической теории механики деформированного твердого тела, описывается дифференциальным уравнением упругой линии изогнутой балки [10, 11]:

$$y'' = \frac{M_x}{E_z I_x}, \quad (7)$$

где  $y''$  – вторая производная от ординаты нейтральной оси (упругой линии) балки;  $M_x$  – изгибающий момент в сечении;  $E_z$  – модуль Юнга в направлении оси балки (при растяжении);  $I_x$  – момент инерции сечения.

Для балки, неоднородной по высоте сечения, жесткость при изгибе рассчитывают по формуле

$$D_x = \int_A E_z y^2 dA. \quad (8)$$

В случае различия упругих характеристик, а также геометрии слоев, в том числе и толщине, уравнение (8) имеет вид

$$D_x = \sum_{i=1}^n E_{zi} y^2 dA_i. \quad (9)$$

В формулах (8) и (9) для расчета жесткости балки при изгибе ордината  $y$  отсчитывается от центральной оси сечения  $x$ , которая для трехслойных панелей с одинаковыми геометрическими параметрами обшивок находится в центре прямоугольного сечения. Для несимметричных структур положение оси  $x$  неизвестно, поэтому вводят произвольную ось  $x_0$ , параллельную оси  $x$  (рис. 4).

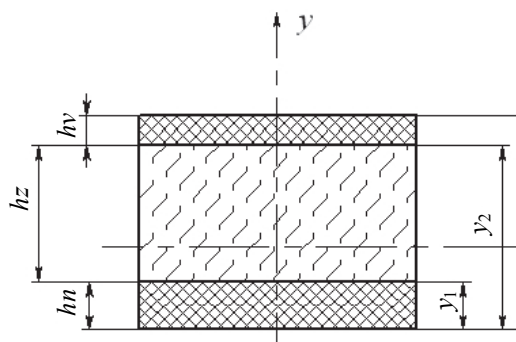


Рис. 4. Схема расположения элементов трехслойной панели

Положение нейтральной оси балки можно определить исходя из предположения, что при относительной деформации  $\epsilon = y/\rho$ , где  $\rho$  – радиус кривизны нейтральной оси, продольная сила равна нулю:

$$N = \int_A \sigma dA = \frac{1}{\rho} \int_A E_z (\bar{y} - y_0) dA = 0, \quad (10)$$

откуда следует формула для расчета положения нейтрального слоя:

$$y_0 = \frac{\int_A E_z \bar{y} dA}{\int_A E_z dA}. \quad (11)$$

Подставив уравнение (10) в (8), получим

$$D_x = \int_A E_z \bar{y}^2 dA - \frac{\left( \int_A E_z \bar{y} dA \right)^2}{\int_A E_z dA}, \quad (12)$$

Показатель жесткости панелей достаточно легко пересчитывается по габаритам панелей и упругим характеристикам материалов обшивки (при условии равной толщины) из-за их линейной взаимосвязи. В общем случае для пересчета можно использовать следующее отношение:

$$D_x = D_x^{(e)} \frac{b}{b^{(e)}} \frac{E}{E^{(e)}}, \quad (13)$$

где  $D_x^{(e)}$ ,  $b^{(e)}$ ,  $E^{(e)}$  – эталонные значения, полученные экспериментально для панелей с известными параметрами свойств и размеров (для панелей шириной  $b = 400$  мм с различной структурой параметры жесткости можно взять из вышеприведенной таблицы);  $D_x$ ,  $b$ ,  $E$  – показатели оцениваемой панели.

В случае, если требуется пересчет на длительную жесткость (определение прогиба через продолжительное время), в качестве  $E^{(e)}$  используют мгновенный модуль упругости материала обшивки, а в качестве  $E$  – длительный. За эталонные можно принять значения жесткости из таблицы, представленной выше.

Как видно из результатов эксперимента, относительная прочность трехслойных панелей с бумажным сотовым наполнителем с увеличением высоты наполнителя существенно уменьшается, однако при этом в большей степени происходит увеличение их жесткости (рис. 5).

Относительный предел прочности при изгибе панели с наполнителем высотой 15 мм (размер ячейки 15 мм) составил 23,4 МПа, при высоте 35 мм – 15,6 МПа. Такой же характер зависимости мы наблюдаем и в отношении бумажного сотового наполнителя с размерами ячеек 25 и

35 мм. Также существенно влияет на прочность сотовых панелей размер ячейки наполнителя. При увеличении размера ячейки прочность материала уменьшается в 0,7–0,8 раза.

С другой стороны, введение сотового наполнителя способствует значительному увеличению жесткости панелей.

Так, например, при размере ячейки 15 мм сотового наполнителя высотой 15 мм относительная жесткость панелей составила 730 Па·м<sup>4</sup>, при высоте 25 мм и 35 мм – в 2,4 и 4,4 раза соответственно больше. При увеличении размера ячейки наполнителя жесткость трехслойных панелей уменьшается незначительно.

Из сравнения полученных значений относительной прочности сотовых панелей  $\sigma_p$  с прочностью древесных материалов обшивок [5] очевидно, что использование сотовых конструкций оправдано только как альтернатива древесностружечных и древесноволокнистых плит средней плотности.

Также стоит отметить, что жесткость трехслойных сотовых панелей значительно выше жесткости традиционных древесных материалов. Так, например, жесткость листа ДСтП толщиной 22 мм и шириной 400 мм и плотностью 675 кг/м<sup>3</sup> составляет около 2000 Па·м<sup>4</sup>. Такую же жесткость имеют трехслойные панели толщиной 32 мм при плотности в 2,5–3 раза ниже. Поэтому облегченные панели не будут подвержены деформации под тяжестью собственного веса в отличие от цельной плиты.

Использование сотовых конструкций с обшивками панели из тонких ХДФ толщиной 3 мм и с внутренним слоем – бумажным сотовым наполнителем с размером ячейки 15 мм оправдано в производстве утолщенных мебельных деталей из-за выигрыша в массе при сохранении прочности, и их использование для нагруженных изделий целесообразно.

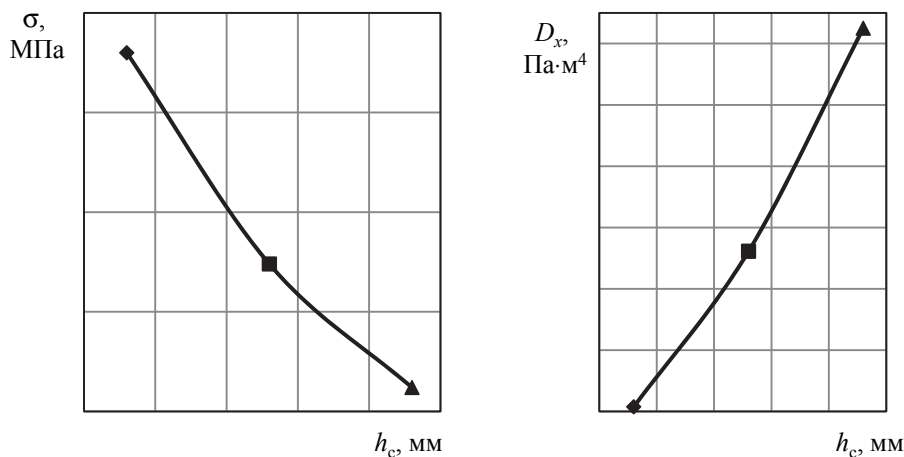


Рис. 5. Зависимость относительной прочности и жесткости щитов от высоты наполнителя (ХДФ толщиной 3 мм, размер ячейки наполнителя 15 мм)

**Вывод.** На основании вышеизложенного очевидно, что показатели деформативности сотового заполнителя, а именно критические деформации сжатия и сдвига, являются определяющими критериями оценки работоспособности трехслойных панелей в целом, так как обуславливают характер их разрушения.

В качестве критериев для оценки эффективности использования менее прочных трехслойных панелей возможно использовать относительные показатели прочности и жесткости панелей.

Это позволит сопоставлять эксплуатационные показатели различных древесных материалов и производить их сравнительную оценку.

В отличие от цельной древесной плиты облегченные панели обладают чрезвычайной легкостью, поэтому не будут подвержены деформации под тяжестью собственного веса. Малый вес мебельных панелей обеспечит снижение расходов древесных материалов, энергетических ресурсов, позволит производить достаточно легкие и прочные изделия.

### Литература

1. Перов Ю. Ю., Мельников П. В. Все, что нужно знать мебельщику о сотах / Ю. Ю. Перов, П. В. Мельников // Мебельщик. 2004. № 3. С. 65–67.
2. Перов Ю. Ю. Неоспоримые достоинства сотового заполнителя // Дерево.RU. 2007. С. 86–90.
3. Никольская В. В. Рынок бумажного сотового заполнителя // ЛесПромИнформ. 2015. № 6. С. 108–112.
4. Наливко Е. В., Шетько С. В. Влияние основных технологических факторов на прочность склеивания сот наполнителя с обшивками облегченного щита // Труды БГТУ. 2009. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 210–213.
5. Наливко Е. В., Шетько С. В. Исследование прочностных и упругих характеристик компонентов трехслойных панелей с маложестким заполнителем // Труды БГТУ. 2010. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 196–200.
6. Наливко Е. В., Шетько С. В., Спиглазов А. В. Местный изгиб панелей с бумажным сотовым заполнителем // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды V Международ. евраз. симп. Екатеринбург, 2010. С. 88–90.
7. Прочность, устойчивость, колебания. В 3 т. Т. 2 / под общ. ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. М.: Машиностроение, 1968. 463 с.
8. Кобелев В. Н., Тимофеев С. И. Расчёт трёхслойных конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 303 с.
9. Рудицын М. Н., Артемов П. Я., Любошиц М. И. Справочное пособие по сопротивлению материалов. Минск: Вышэйшая школа, 1970. 630 с.
10. Волынский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учеб.-справ. пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2010. 336 с.
11. Ставров В. П. Механика композиционных материалов. Минск: БГТУ, 1996. 164 с.

### References

1. Perov Yu. Yu. Mel'nikov P. V. Everything a furniture maker needs to know about honeycombs. *Mebel'shchik* [Furniture maker], 2004, no. 3, pp. 65–67 (In Russian).
2. Perov Yu. Yu. The undeniable advantages of honeycomb. *Derevo.RU* [Wood.RU], 2007, pp. 86–90 (In Russian).
3. Nikol'skaya V. V. Paper honeycomb market. *LesPromInform* [Lesprominform], 2015, no. 6, pp. 108–112 (In Russian).
4. Naliuko Ye. V., Shet'ko S. V. The influence of the main technological factors on the bonding strength of the filler honeycomb with the lining of the lightweight board. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2009, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 210–213 (In Russian).
5. Naliuko Ye. V., Shet'ko S. V. Investigation of the strength and elastic characteristics of the components of three-layer panels with low-rigid aggregate. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2010, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 196–200 (In Russian).
6. Naliuko Ye. V., Shet'ko S. V., Spiglazov A. V. Local bending of panels with paper honeycomb core. *Trudy V Mezhdunarodnogo yevraziyskogo simpoziuma "Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka"* [Proceedings of the V International Eurasian symposium. "Woodworking: technology, equipment, management of the XXI century"]. Yekaterinburg, 2010, pp. 88–90 (In Russian).
7. *Prochnost', ustoychivost', kolebaniya*. V 3 t. T. 2. [Strength, stability, oscillation: reference book. In 3 vol. Vol. 2]. Ed. by I. A. Burger, Ya. G. Panovko. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1968, 463 p.
8. Kobelev V. N., Timofeyev S. I. *Raschet trekhslonnykh konstruksiy* [Calculation of sandwich construction]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1984, 303 p. (In Russian).

9. Ruditsyn M. N., Artemov P. Ya., Lyuboshits M. I. *Spravochnoye posobiye po soprotivleniyu materialov* [The reference book on resistance of materials]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1970, 630 p.
10. Volynskiy V. N. *Tekhnologiya drevesnykh plit i kompozitnykh materialov* [Technology of wood boards and composite materials]. St. Petersburg, Izdatel'stvo "Lan" Publ., 2010. 336 p.
11. Stavrov V. P. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov* [Mechanics of composite materials]. Minsk, BGTU Publ., 1996. 164 p.

#### Информация об авторах

**Ручкина Елена Васильевна** – ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Nalivko83@bk.ru

**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: Shs@belstu.by

#### Information about the authors

**Ruchkina Yelena Vasil'yevna** – assistant lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Nalivko83@bk.ru

**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: Shs@belstu.by

Поступила 14.10.2019

УДК 621.3.029.6:674.8

**М. В. Аникеева**

Белорусский государственный университет транспорта

**СПОСОБ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОЙ  
ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Надежность машин и механизмов обуславливается предварительным анализом их условий эксплуатации. Выбор недорогих, качественных материалов для узлов трения – актуальная проблема инженерных работников предприятий Республики Беларусь. Применение природного композиционного материала на основе прессованной древесины позволит снизить затраты на изготовление и техническое обслуживание подшипников скольжения. Проведение лабораторных испытаний позволит исключить несвоевременный выход из строя узлов трения машин и механизмов.

Данный способ оценки триботехнических характеристик подшипников скольжения на основе модифицированной прессованной древесины может иметь два направления применения: сокращение времени для проведения испытаний и получения необходимых данных; контроль за триботехническими характеристиками, зависящими от шероховатости контртела, которые возможно изменять, не применяя материалы для его изготовления и не используя разные способы обработки резанием.

В работе рассмотрен ускоренный способ оценки триботехнических характеристик природного композиционного материала на основе березы, позволяющий за малый промежуток времени проанализировать работу подшипникового узла трения. Данный способ заключается в регулировании шероховатости (степени дисперсности зерен) контртела, контактируемого с вкладышем торцово-прессового деформирования (ТПД) древесной втулки. Экспресс-способ оценки триботехнических характеристик позволяет сократить продолжительность испытаний в 48 раз по сравнению с ранее проведенными экспериментами.

Анализ полученных триботехнических характеристик позволит спрогнозировать работоспособность узлов трения с подшипниками скольжения самосмазывающимися торцово-прессового деформирования древесной втулки (ПСС ТПД), эксплуатируемых при аналогичных режимах нагружения и шероховатости материала контртела.

**Ключевые слова:** прессованная древесина, подшипники скольжения самосмазывающиеся, экспресс-способ, контртело, коэффициент трения, температура фрикционного разогрева, линейная интенсивность изнашивания, износостойкость.

**M. V. Anikayeva**

Belarusian State University of Transport

**METHOD FOR ASSESSING TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS  
PLAIN BEARINGS FROM MODIFIED PRESSED WOOD**

Reliability of machines and mechanisms is conditioned by preliminary analysis of their operating conditions. Selection of inexpensive, high-quality materials for friction units is a pressing problem for engineers of enterprises of the Republic of Belarus. Use of natural composite material on the basis of pressed wood will reduce costs for manufacturing and maintenance of rolling bearings and plain bearings. Laboratory tests will prevent untimely failure of friction units of machines and mechanisms.

This method of assessment of tribotechnical characteristics plain bearing from modified pressed wood can have 2 applications: reduction of time for testing and obtaining necessary data; control of tribotechnical characteristics depending on counterbody roughness, which can be changed without using materials for its manufacture and not using different methods cutting.

The work deals with an accelerated method of assessing tribotechnical characteristics of natural composite material on the basis of birch, which allows to analyze the friction bearing assembly operation in a short period of time. This method consists in adjustment of roughness (dispersion degree) of counterbody, which is in contact with insert of end-press deformation of wood bushing. The express method of evaluation of tribotechnical characteristics allows to reduce the duration of tests by 48 times compared to previous experiments.

Analysis of obtained tribotechnical characteristics will make it possible to predict operability of friction units with self-lubricating plain bearings with bushing from press deformation wood, which are operated under similar modes of loading and roughness of counterbody material.

**Key words:** natural composite, self-lubricating sliding bearings, express method, countertelo, friction coefficient, friction heating temperature, linear wear intensity, wear resistance.

**Введение.** Прогнозирование функционирования узлов трения машин и механизмов возможно только после анализа условий эксплуатации: условий нагружения и характеристик окружающей среды, геометрических и конструктивных, эксплуатационных, экономических и технологических требований [1]. При оценке условий эксплуатации немаловажными операциями являются окончательный выбор материала и проведение лабораторных испытаний [2–5].

В Республике Беларусь актуальной проблемой является экономия материальных и энергетических ресурсов [6, 7]. Многие предприятия заинтересованы во внедрении недорогих, но качественных и долговечных деталей для узлов трения. Такими являются подшипники скольжения на основе природного композиционного материала – прессованной древесины. Их применение за счет снижения затрат на изготовление, обслуживание по сравнению с подшипниками скольжения из традиционных металлических и полимерных материалов, подшипников качения приводит к улучшению технико-экономических показателей машин и механизмов, особенно эксплуатирующихся в абразивно-агрессивных средах [8].

**Основная часть.** В Белорусском государственном университете транспорта разработана новая высокопроизводительная технология изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессовым деформированием (ПСС ТПД) древесных карточек из березы во вкладыш и полуавтоматы для их производства [9, 10].

Проведен ряд триботехнических исследований созданных подшипников скольжения торцово-прессового деформирования, которые характеризуются длительностью испытаний для получения экспериментальных значений.

**Цель данной работы** заключается в создании ускоренного способа оценки антифрикционных свойств (температуры фрикционного разогрева, коэффициента трения и износостойкости) ПСС ТПД.

**Объекты и методы испытаний.** Образцы для проведения экспериментов представляли собой ролики и вкладыши ТПД.

Ролики из стали, покрытые шлифшкуркой с разной дисперсностью зерен  $P320$ – $P40$  (табл. 1), изготавливались с наружным диаметром  $d = 40$  мм и внутренним диаметром  $d = 16$  мм (рис. 1).

Вкладыш ТПД, пропитанный смазкой модифицированной высокомолекулярной присадкой, имел форму сегмента толщиной 10 мм, длиной дуги 20 мм и площадью поверхности контакта  $200 \text{ мм}^2$  (рис. 1).

Эксперименты проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вал – частичный вкладыш» (рис. 1) при давлении  $p = 0,5$  МПа, скорости скольжения  $v = 0,25$  м/с. Длительность испытаний для каждой пары трения составляла 300 с.

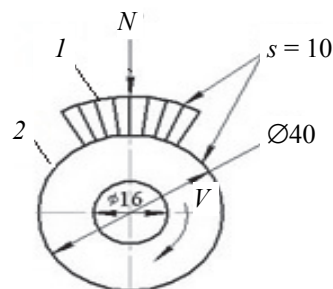


Рис. 1. Схема испытаний:  
1 – вал; 2 – частичный вкладыш

Микрофотографии испытуемых образцов до (рис. 2, 3) и после триботехнических испытаний получены на металлографическом микроскопе МИМ-7.

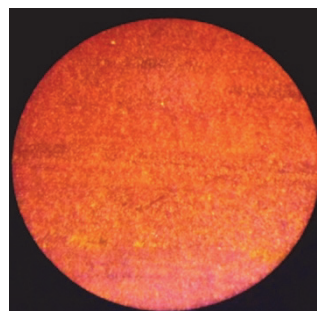


Рис. 2. Микрофотография вкладыша ТПД, полученная на металлографическом микроскопе МИМ-7, до испытаний (ув.  $250\times$ ).

Таблица 1

Параметры шероховатости контртел

Маркировка по ISO-6344	$P320$	$P240$	$P180$	$P120$	$P100$	$P80$	$P60$	$P40$
Размер зерна $d$ , мкм	28–40	50–63	63–80	100–125	125–160	200–250	250–315	400–500
Класс шероховатости $\Delta$	4	3	3	2	2	1	1	1



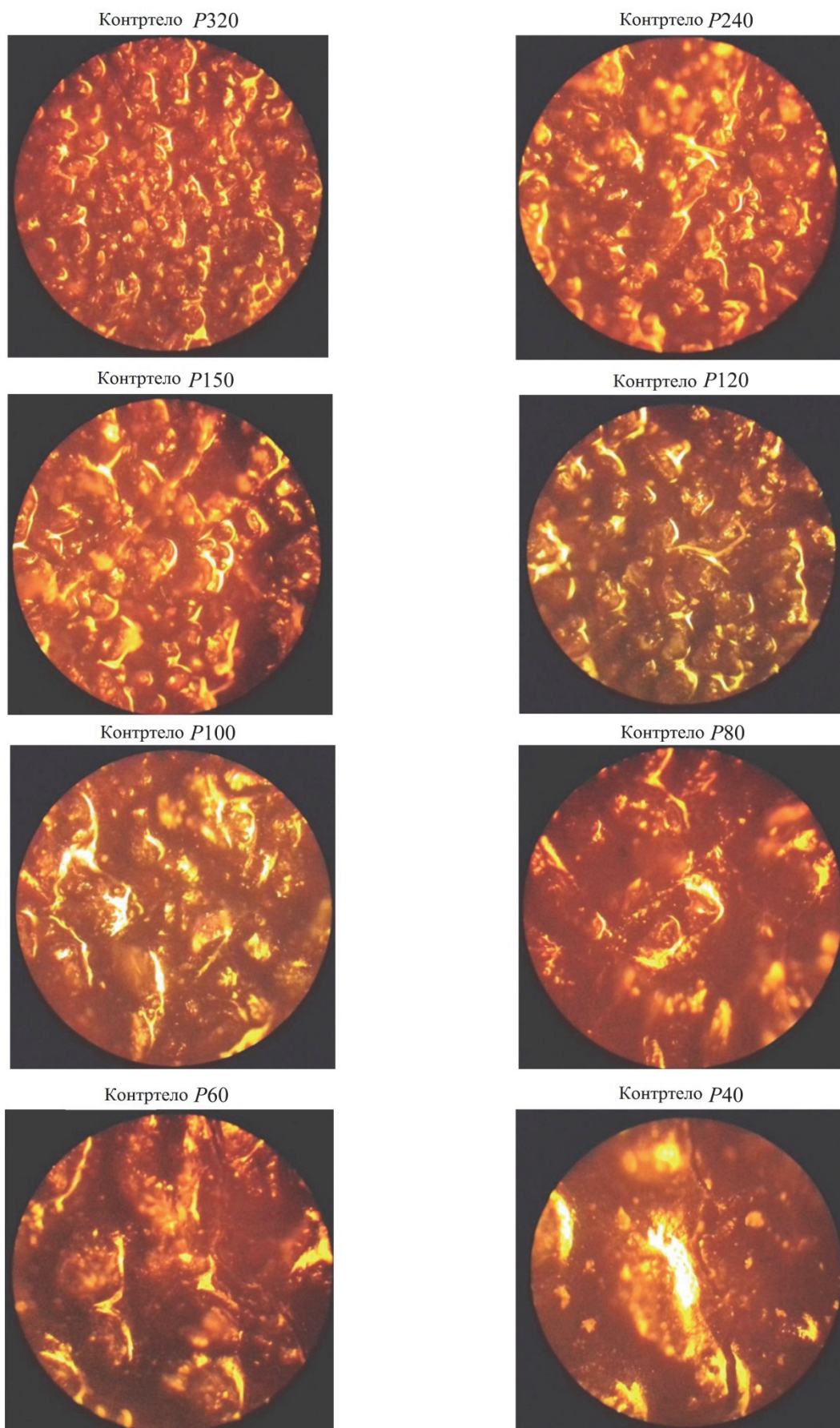


Рис. 3. Микрофотографии контртел с шлифзерном разной дисперсности, выполненные на металлографическом микроскопе МИМ-7 до испытаний (ув. 250×)

Температура фрикционного разогрева измерялась мультиметром Digital Instrument DT-838 на расстоянии 1 мм от поверхности трения.

Коэффициент трения определялся по показаниям измерений момента трения и фиксировался при помощи самописца КСП-4.

Линейная интенсивность изнашивания определялась по изменению массы вкладышей ТПД при помощи аналитических весов ВЛА-200г-М [11].

#### Результаты испытаний и их обсуждение.

Выявлено, что с течением времени для всех испытываемых пар трения температура фрикционного разогрева увеличивается незначительно. Это обусловлено переносом верхнего слоя вкладыша торцово-прессового деформирования на поверхность контртела. Микронеровности ролика сглаживаются, а рост температуры в зоне контакта пары трения фактически прекращается.

Однако большое влияние на повышение температуры, генерируемой в зоне трения, оказывает размер зерна контртела. Установлено, что с увеличением степени дисперсности абразивных частиц контртела температура, генерируемая в зоне трения, повышается пропорционально ее величине (рис. 4), (табл. 2).

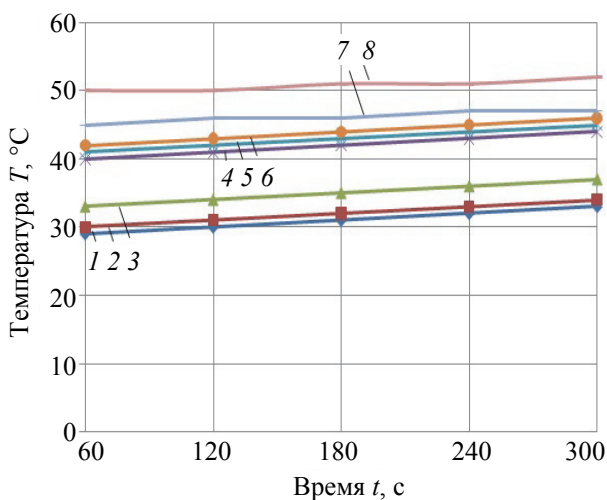


Рис. 4. Влияние продолжительности испытаний на температуру фрикционного разогрева пары трения «вкладыш – ролик» при различной зернистости контртела

Как видно из полученных данных, температура фрикционного разогрева пары трения

«частичный вкладыш – ролик P320» меньше в 1,72 раза по сравнению с температурой фрикционного разогрева пары трения «частичный вкладыш – ролик P40».

Для пар трения «вкладыш ТПД – ролик P60», «вкладыш ТПД – ролик P40» увеличилась на 2°С, а для остальных на 4°С.

На основании показаний момента трения рассчитан коэффициент трения в зоне контакта пары трения «частичный вкладыш – ролик».

Выявлены три характерные зоны изменения коэффициента трения (рис. 5).

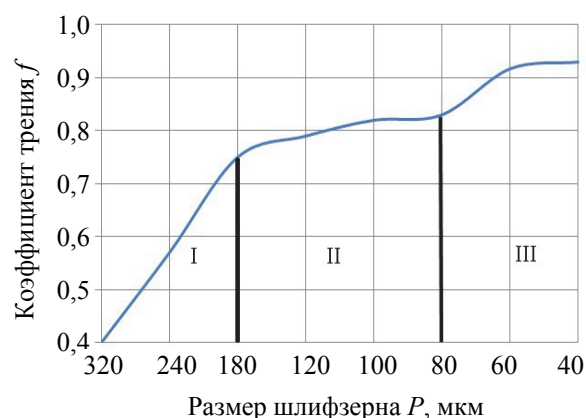


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения от зернистости  $P$  контртела пары трения «вкладыш – ролик»

Область I соответствует парам трения, где контртело имеет мелкозернистую структуру. Резкий рост коэффициента трения  $f$  с 0,40 до 0,75 обусловлен переходом от мелкозернистой структуры контртела к крупнозернистой. Область II характеризуется постепенным увеличением коэффициента трения  $f = 0,75–0,83$ , поскольку шероховатость контртела варьируется в диапазоне  $\Delta 3–\Delta 1$ . В зоне III наблюдается скачок коэффициента трения  $f$  с 0,83 до 0,91, который характеризует переход от класса шероховатости  $\Delta 2$  к классу шероховатости  $\Delta 1$ , а затем происходит его стабилизация:  $f = 0,91–0,93$ , так как шероховатость контртел колеблется в одном классе  $\Delta 1$  и не изменяется.

Итак, коэффициент трения пар трения «вкладыш – ролик» при вышеуказанных режимах нагружения после 300 с повысился в 2,32 раза при увеличении степени дисперсности контртела (табл. 2).

Таблица 2

Триботехнические характеристики вкладышей ТПД после 60 с испытаний

Маркировка по ISO 6344	P320	P240	P180	P120	P100	P80	P60	P40
Температура фрикционного разогрева $t$ , °С	29	30	33	40	41	42	45	50
Коэффициент трения $f$	0,4	0,57	0,75	0,79	0,82	0,83	0,91	0,93

Высокое значение массового износа вкладыша ТПД обусловлено большими размерами шлифзерна контртела (рис. 6).

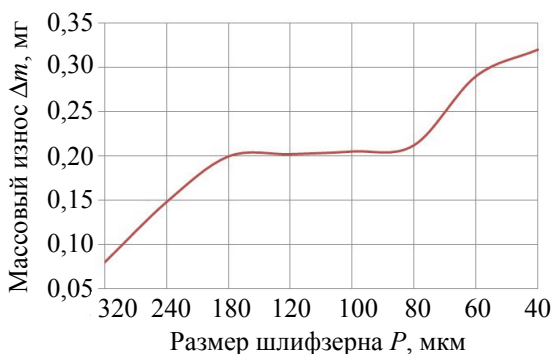


Рис. 6. Влияние зернистости контртела на массовый износ вкладыша ТПД

Ролик своими неровностями воздействует на вкладыш торцово-прессового деформирования втулки из древесины березы, увеличивая число зацеплений. Также увеличивается число пятен контакта. Вкладыш ТПД изнашивается, а частички шлифзерна внедряются в его поверхность, поскольку твердость древесины ничтожна мала по сравнению с твердостью шлифзерна. Для пар трения «вкладыш ТПД – ролик P60», «вкладыш ТПД – ролик P40» данное заключение подтверждено экспериментально (см. рис. 9, с. 199).

Весовым методом измерен массовый износ вкладышей ТПД, работающих с роликами разной зернистости. За 300 с массовый износ вкладыша ТПД, работающего с контртелом зернистостью P 320, составил  $\Delta m = 0,08$  мг, а массовый износ вкладыша ТПД, испытываемого с контртелом зернистостью P40, увеличился в 4 раза и достиг  $\Delta m = 0,32$  мг (рис. 6).

Массовый износ вкладыша торцово-прессового деформирования повышается пропорционально классу шероховатости с  $\Delta 4$  до  $\Delta 1$ .

На основании полученных данных массового износа вкладышей ТПД подсчитана их линейная интенсивность изнашивания при испытаниях с контртелами различной зернистости.

Зависимость интенсивности изнашивания от размера зерна шлифшкурки отражена на рис. 7.

Линейная интенсивность изнашивания вкладышей ТПД при контактировании с роликами зернистостью в пределах P320–P40 находится в диапазоне  $I_h = (0,94–4,30) \cdot 10^{-5}$ .

Рассчитана износостойкость вкладышей торцово-прессового деформирования при трении о шероховатую поверхность контртела с различными размерами зерен. Построена зависимость износостойкости вкладышей ТПД от величины зерен контртел (рис. 8).

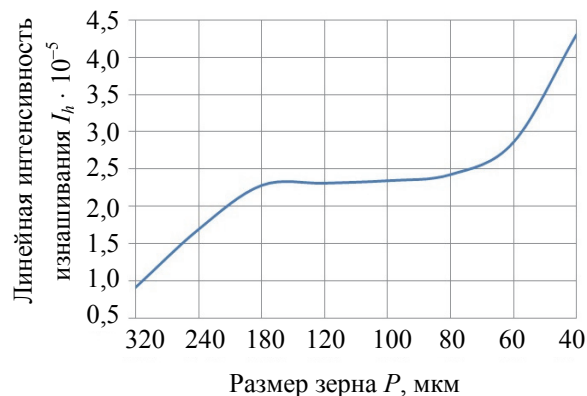


Рис. 7. Зависимость линейной интенсивности изнашивания вкладышей ТПД от зернистости P контртела

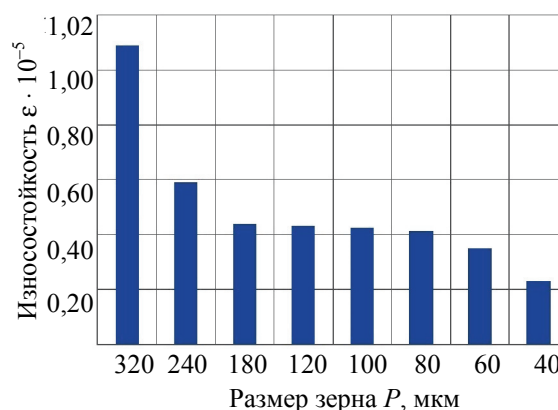


Рис. 8. Зависимость износостойкости вкладышей ТПД от зернистости P контртела

Итак, величина износостойкости вкладыша ТПД, работающего с контртелами зернистостью P320–P40 изменяется в диапазоне  $\epsilon = (1,09–0,23) \cdot 10^{-5}$ .

Таким образом, при увеличении размера зерна контртела линейная интенсивность изнашивания увеличивается (рис. 7), а износостойкость снижается, что и показано на рис. 8. На рабочей поверхности вкладышей имеются полосы, которые характеризуют дорожку трения, а поверхность ролика покрыта частицами износа вкладышей ТПД (рис. 9).

Из микрофотографий (рис. 9), полученных на микроскопе, видно, что при испытаниях вкладышей ТПД с контртелами различной зернистости увеличивается глубина внедрения шлифзерна во вкладыш ТПД, о чем свидетельствует наличие полос (вырывание). Их интенсивность заметно повышается при увеличении зерна шлифшкурки. Также следует отметить, что при увеличении зернистости контртела до P60–P40 происходит вырывание зерен с его поверхности. В данный момент коэффициент трения повышается и достигает диапазона  $f = 0,91–0,93$ .



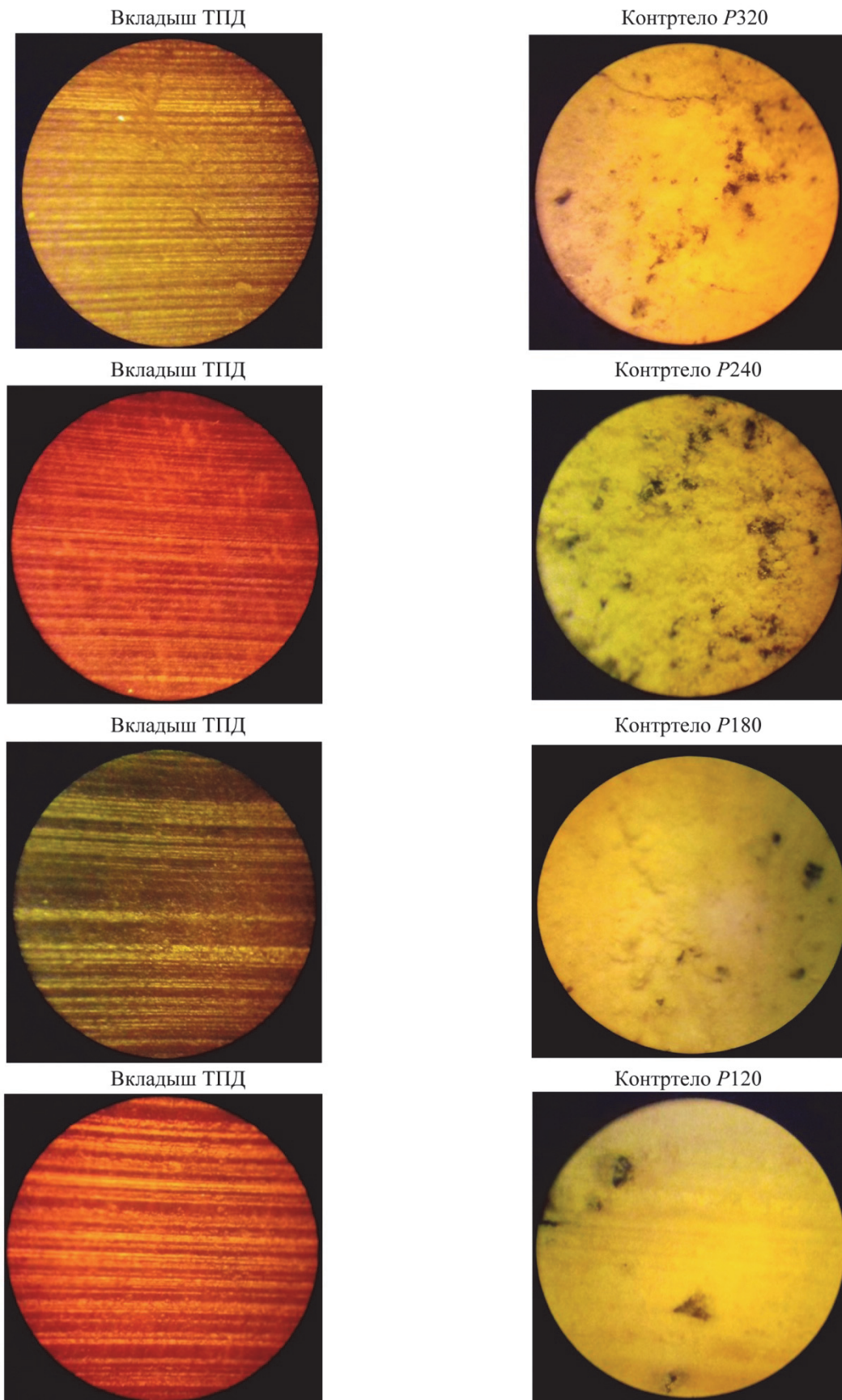


Рис. 9. Микрофотографии контактных поверхностей вкладышей ТПД и контртел различной зернистости после триботехнических испытаний (ув. 250×) (начало; окончание на с. 199)

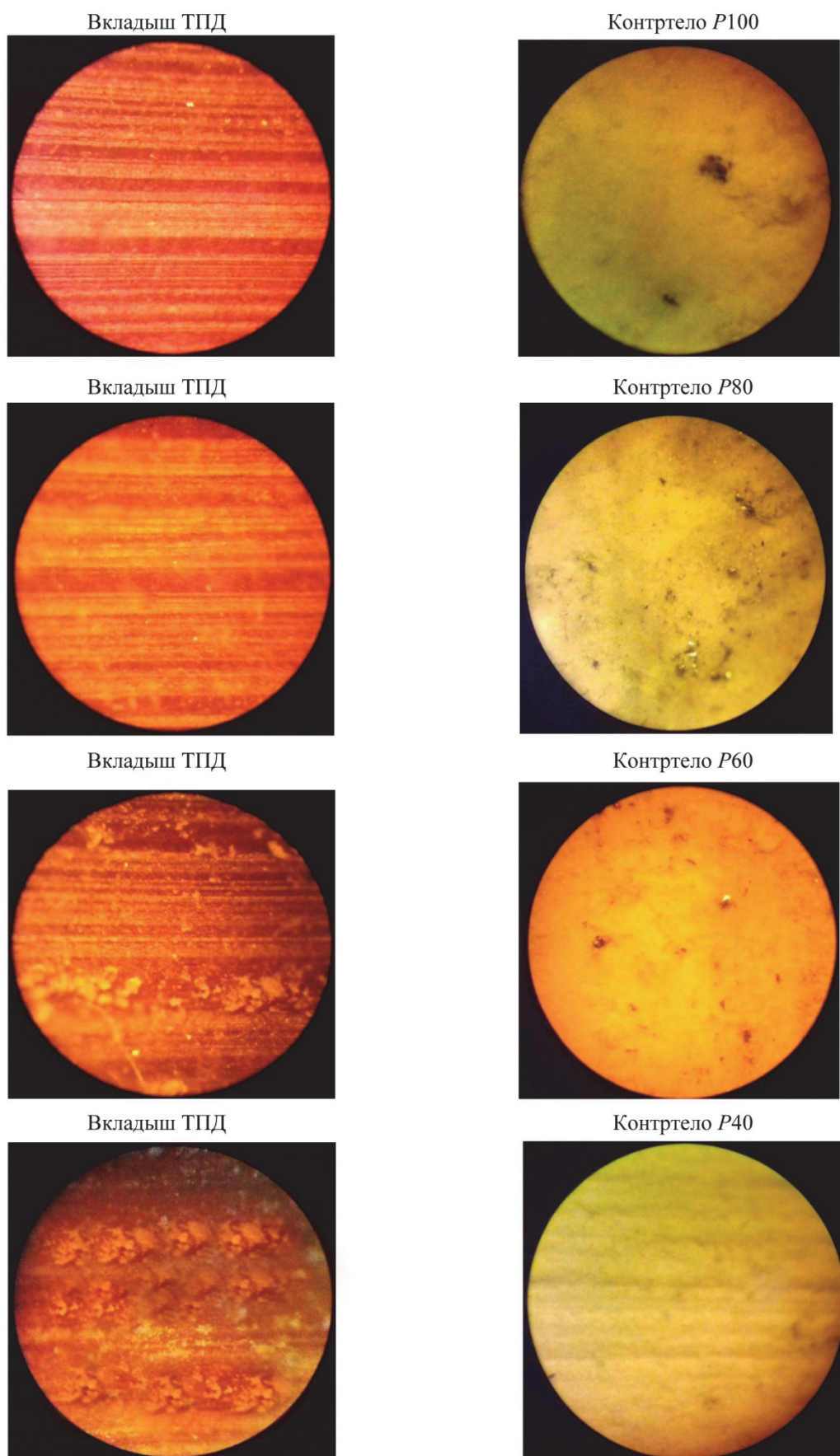


Рис. 9. Окончание (начало на с. 198)

Итак, происходит перенос и внедрение абразивных частиц в рабочую поверхность вкладыша. Контактная поверхность ролика покрывается продуктами износа вкладыша торцово-прессового деформирования.

**Заключение.** При проведении триботехнических испытаний пары трения «древесный вкладыш ТПД – ролик», где контртело имеет шероховатость  $R_a = 0,63$  мкм ( $\Delta 8$ ), массовый износ вкладышей меньше в 4 раза, а время для осуществления экспериментов в 48 раз больше, чем у пары трения «вкладыш ТПД – ролик P320».

При увеличении степени дисперсности зерен контртела до P40 ( $\Delta 1$ ) возможно ускорить процесс массового износа вкладыша торцово-прессового деформирования в 16 раз, а продолжительность триботехнических экспериментов уменьшить в 48 раз по сравнению с па-

рой трения, где ролик имеет класс шероховатости поверхности  $\Delta 8$ .

Коэффициент трения  $f$  при испытаниях пары трения «вкладыш ТПД – ролик» с шероховатостью контртела класса  $\Delta 8$  в 1,5 и в 3,6 раза меньше коэффициента пары трения «вкладыш ТПД – ролик P320», «вкладыш ТПД – ролик P40» соответственно.

Данный способ позволяет проводить ускоренные триботехнические испытания по сравнению с традиционными исследованиями.

Экспресс-метод дает возможность спрогнозировать работоспособность узлов трения с подшипниками скольжения самосмазывающимися торцово-прессового деформирования древесной втулки (ПСС ТПД), эксплуатируемых при аналогичных режимах нагружения и шероховатости материала контртела.

### Литература

1. Горленко О. А., Тихомиров В. П., Бишутин Г. А. Прикладная механика: триботехнические показатели качества машин. М.: Юрайт, 2018. 264 с.
2. Чубинский А. Н. Физические методы испытаний древесины. А. Н. Чубинский [и др.]. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 125 с.
3. Древесина модифицированная. Метод определения износостойкости и коэффициента трения: ГОСТ Р 55951–2014. Воронеж: ВГЛА, 2015. 6 с.
4. Способ оценки износостойкости полимерных композиционных материалов: пат. № 2526223 / О. В. Гоголева, Н. Р. Адамов, А. И. Герасимов; заявл. 17.12.2012; опубл. 20.08.2014 // Бюл. № 18. 2014. 6 с.
5. Durability of Wood-Plastic Composites / J. J. Morrell [et al.] [Electronic resource]. URL: file://Downloads/Durability\_of\_Wood-Plastic\_Composites.pdf (Mode of access: 01.09.2019).
6. Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства [Электронный ресурс] / Директива президента Республики Беларусь. URL: [http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146\(005-015\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146(005-015).pdf) (дата обращения: 01.09.2019).
7. External factors of economic growth and its system of indicators and assessment [Electronic resource] / bookstorstudy.com/. URL: <https://booksforstudy.com/1228112839235/ekonomika/.html> (Mode of access: 01.09.2019).
8. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика) / А. Б. Невзорова [и др.]. Гомель: БелГУТ, 2011. 254 с.
9. Врублевский В. Б. Исследование процесса торцово-прессового деформирования древесины и создание высокопроизводительного оборудования для изготовления из нее подшипников скольжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2002. 20 с.
10. Полуавтомат для торцово-прессового деформирования древесных заготовок: Евраз. пат. № 022215 / А. Б. Невзорова, Н. В. Врублевский, В. И. Врублевская, Г. А. Гафт, Ю. А. Журавлев; заявл. 21.08.2012; опубл. 30.11.2015 // Бюл. № 11. 2015. 5 с.
11. Богданович П. Н., Прушак В. Я., Богданович С. П. Трение, смазка и износ в машинах. Минск: Тэхналогія, 2011. 527 с.

### References

1. Gorlenko O. A., Tikhomirov V. P., Bishutin G. A. *Prikladnaya mekhanika: tribotekhnicheskiye pokazateli kachestva mashin* [Applied mechanics: tribotechnical indicators of machine quality]. Moscow, Yurayt Publ., 2018. 264 p.
2. Chubinskiy A. N., Tambi A. A., Varankina G. S., Fedyayev A. A., Chubinskiy M. A., Shvets V. L., Chauzov K. V. *Fizicheskiye metody ispytaniy drevesiny* [Physical methods of wood testing]. St. Petersburg, SPbGLTU Publ., 2015. 125 p.
3. GOST P 55951–2014. Wood modified. Method of Determination of Wear Resistance and Friction Coefficient. Voronezh, VGLA Publ., 2015. 6 p. (In Russian).



4. Gogoleva O. V., Adamov N. R., Gerasimov A. I. *Sposob otsenki iznosostoykosti polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Method for assessing the wear resistance of polymer composite materials]. Patent RU, no 2526223, 2014.

5. Morrell J. J., Nicole M. Stark, David E. Pendleton, Armando G. McDonald. Durability of Wood-Plastic Composites. Available at: file://Downloads/Durability\_of\_Wood-Plastic\_Composites.pdf (accessed 01.09.2019).

6. *Ekonomiya i berezhlivost' – glavnyye faktory ekonomicheskoy bezopasnosti gosudarstva* [Economy and poverty – the main factors of economic security of the state]. Available at: [http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146\(005-015\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146(005-015).pdf) (accessed 01.09.2019).

7. External factors of economic growth and its system of indicators and assessment. Available at: <https://booksforstudy.com/1228112839235/ekonomika/.html> (accessed 01.09.2019).

8. Nevzorova A. B., Wrublewskiy V. B., Matusevich V. O., Vrublevskaya V. I. *Podshipniki skol'zheniya samosmazyvayushchiesya na osnove modifitsirovannoy drevesiny (teoriya, tekhnologiya i praktika)* [Self-lubricating plain bearings on the basis of the modified wood (theory, technology and practice). Gomel, BelGUT Publ., 2011. 254 p.

9. Vrublevskiy V. B. *Issledovaniye protsessa tortsovo-pressovogo deformirovaniya drevesiny i sozdaniye vysokoproizvoditel'nogo oborudovaniya dlya izgotovleniya iz neye podshipnikov skol'zheniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Investigation of butt-pressing deformation of timber and creation of high-performance equipment for the manufacture of it plain bearings. Abstract of thesis canol. of engineer. sci.]. Minsk, 2002. 20 p.

10. Nevzorova A. B., Vrublevskiy N. V., Vrublevskaya V. I., Gaft G. A., Zhuravlev Yu. A. *Poluavtomat dlya tortsovo-pressovogo deformirovaniya drevesnykh zagotovok* [Semiautomat for butt-pressing deformation of wooden billets]. Patent BY, no. 022215, 2015.

11. Bogdanovich P. N., Prushak V. Ya., Bogdanovich S. P. *Treniye, smazka i iznos v mashinakh* [Friction, lubrication and wear in machines]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2011. 527 p.

#### **Информация об авторе**

**Аникеева Марта Владиславовна** – соискатель технических наук, инженер по патентной и изобретательской работе НИС. Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: [marta.anikeeva@yandex.ru](mailto:marta.anikeeva@yandex.ru)

#### **Information about the author**

**Anikeyeva Marta Vladislavovna** – external doctorate student of technical sciences, patent and invention engineer, reasearch sector. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: [marta.anikeeva@yandex.ru](mailto:marta.anikeeva@yandex.ru)

*Поступила 12.10.2019*

# ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

---

УДК 536.24:66.045

**В. Б. Кунтыш<sup>1</sup>, А. Б. Сухоцкий<sup>1</sup>, А. Э. Пиир<sup>2</sup>, В. П. Мулин<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова  
(Российская Федерация)

<sup>3</sup>ЗАО «Октябрьскхиммаш» (Российская Федерация, Республика Башкортостан)

## ТЕПЛОТДАЧА И АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ШАХМАТНЫХ ПУЧКОВ ИЗ ТЕРМОАЭРОЗАЩИТНЫХ ТРУБ ПРИМЕНЕНИЕМ СПИРАЛЬНЫХ ПОДОГНУТЫХ РАЗНОВЫСОТНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ РЕБЕР

Экспериментальное исследование теплоаэродинамических характеристик пучков из труб с подогнутыми алюминиевыми спиральными ребрами в поперечном потоке воздуха обусловлено актуальной задачей повышения эксплуатационной надежности и тепловой эффективности аппаратов воздушного охлаждения (АВО), в частности теплообменных секций, как доминирующего элемента любого аппарата. Это предопределило выбор типоразмера и конструктивного исполнения поверхности теплообмена, компоновочных параметров пучка, интервала скорости воздуха. В пучках современных АВО для достижения высокой тепловой эффективности применяют биметаллические ребристые трубы (БРТ) с максимально достигнутым коэффициентом оребрения  $\phi \approx 20\text{--}21$  при серийном производстве, расположенных в вершинах равностороннего треугольника с шагом  $S_1 = S_2' = 63\text{--}64$  мм для наружного диаметра ребра  $d = 56\text{--}57$  мм.

Однако в эксплуатации находится значительное количество АВО, теплообменные секции которых состоят из БРТ с  $\phi \approx 9,4$  и  $15,2$ , собранных в пучках с  $S_1 = S_2' = 52$  и  $58$  мм. При модернизации этих пучков с целью повышения аппаратной мощности таких АВО целесообразны трубы с параллельной подгибкой ребер, что позволяет реализовать указанные значения шага трубами с  $\phi \approx 21$ . Подгибка изменяет гидродинамику потока воздуха в межреберных каналах, интенсифицируется теплоотдача при умеренном росте аэродинамического сопротивления, но наиболее существенным свойством является рост компактности пучка до 22%.

Подгибка ребер вдоль образующей трубы «на квадрат в плане» позволяет ощутимо уменьшить теплоотдачу пучка, так как образовавшиеся близкие к полной замкнутости межреберные каналы очень слабо вентилируются с удалением из них нагретого воздуха, отводимого теплом от охлаждаемого продукта. Количество отводимого тепла уменьшается, что предотвращает его переохлаждение с возможностью замерзания в трубах, что недопустимо. Труба превращается в термоизолятор. Применение подобных конструкций БРТ возможно в первом, втором рядах пучка по ходу охлаждающего воздуха. При этом увеличивается эксплуатационная надежность, исключается предварительный подогрев воздуха на входе в секции, упрощаются конструкция и управление тепловым режимом АВО.

Для подгибки наилучшим типом являются БРТ с навитыми спиральными алюминиевыми ребрами по технологии ЭНИКмаш. Подгибка накатных алюминиевых ребер из-за большей их жесткости усложняется технологически.

В связи с изложенным проведены исследования шестирядных шахматных пучков из БРТ с алюминиевыми КЛМ-ребрами с разновысокими прямыми, параллельно подогнутыми и подогнутыми «на квадрат». Приведены уравнения для расчетов средней теплоотдачи и сопротивления пучков, а также теплоотдачи каждого поперечного ряда в диапазоне числа  $Re = (3\text{--}25) \cdot 10^3$ .

**Ключевые слова:** аппарат воздушного охлаждения, биметаллическая ребристая труба, шахматный пучок, приведенная средняя теплоотдача, теплоотдача поперечного ряда, аэродинамическое сопротивление.

V. B. Kuntys<sup>1</sup>, A. B. Sukhotski<sup>1</sup>, A. E. Piir<sup>2</sup>, V. P. Mulin<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University of M. V. Lomonosov (Russian Federation)

<sup>3</sup>ISC "Oktoberkhimmash" (Russian Federation)

## CONVECTIVE HEAT EXCHANGE AND AERODYNAMIC RESISTANCE OF CHESS BUNCHES FROM THERMOAEROPROTECTIVE TUBES APPLICATION OF THE SPIRAL TURNED IN DIFFERENT HIGH-RISE ALUMINIUM RIBS

The experimental research thermal and aerodynamic characteristics of bunches from tubes with the turned in aluminium spiral ribs in air cross flux is caused by an actual problem of raise of operate reliability and thermal efficiency of apparatuses of an air cooling (AVO), in particular heat exchange sections, as dominating element of any apparatus. It predetermined sampling of a standard size and a design of a heat-exchange surface, layout parameters of a bunch, an interval of speed of air. In bunches modern AVO for achievement of high thermal efficiency apply bimetallic ribbed tubes (BRT) with as much as possible attained factor оребрения  $\varphi = 20-21$  by a batch production, had in apexes of an equilateral triangle with step  $S_1 = S_2' = 63-64$  mm to rib outside diameter  $d = 56-57$  mm.

However in maintenance there is significant amount AVO, heat exchange sections consist from BRT with  $\varphi = 9,4$  and  $15,2$ , collected in bunches with  $S_1 = S_2' = 52$  and  $58$  mm. At modernisation of these bunches for the purpose of raise of apparatus power such ABO pipes with parallel turn in ribs that allows to realise the specified values of a step pipes with  $\varphi = 21$  are expedient. Turned in changes hydrodynamics of a stream of air in intercostal channels, the convective heat exchange is intensified at moderate growth of an aerodynamic resistance, but the most essential property is growth of compactness of a bunch to 22%.

Turn in ribs along a forming pipe «by a square in the plot» allows to reduce in times a bunch convective heat exchange as the formed intercostal channels close to full isolation are very poorly fanned with removal from them нагретого air, taken away heat from a chilled product. The quantity of taken away heat decreases that prevents its super-cooling with solidification possibility in pipes that is inadmissible. The tube turns to thermoinsulator. Application of similar designs BRT is possible in the first, second rows of a bunch on a course of chilling air. Operate reliability thus increases, air preheating on an entry in section is expelled, the design and management of thermal regime AVO becomes simpler.

For turn in the best type are BRT with the wound spiral aluminium ribs on production engineering ENIKmash. Turn in ribbed aluminium ribs because of their big rigidity becomes complicated technologically.

In connection with stated researches six rows chess bunches from BRT with aluminium KLM-edges with unequal height direct, in parallel turned in and turned in «on a square» are conducted. The equations for calculations of an average convective heat exchange and resistance of bunches, and also a convective heat exchange of each transverse row over the range numbers  $Re = (3-25) 10^3$  are resulted.

**Key words:** air cooled heat exchange, bimetallic ribbed tube, chess bunch, resulted average convective heat exchange, convective heat exchange of the transverse row an aerodynamic resistance.

**Введение.** Круглые трубы со спиральными навитыми ребрами нашли применение в водяных экономайзерах и паровых калориферах парогенерирующих установок, в теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) энергоносителей и технологических продуктов в процессах нефтеперерабатывающей, химической, нефтехимической промышленности [1], электроэнергетике, холодильной технике и других отраслях народного хозяйства. Несмотря на различия в материальном исполнении, геометрических параметрах ребер и компоновочных характеристиках труб в пучке, общим является невысокая теплоотдача ( $\approx 40-90$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) от оребрения к газовой (воздушному) потоку, следствием чего является низкий коэффициент теплопередачи и значительные габариты теплообменника «газ-жидкость».

Для повышения тепловой эффективности этих теплообменников, снижения габаритов и

массы применяют интенсификацию теплоотдачи оребренной поверхности. Предложено и изучено значительное количество методов интенсификации теплоотдачи при внешнем поперечным обтекании пучков ребристых труб [2]. Одним из относительно новых из многообразия способов интенсификации теплоотдачи является подгибка ребер [3]. В основе способа находится совершенствование гидродинамики обтекания ребристых труб, и он исследован для шахматных пучков труб с навитыми стальными приварными ребрами, коэффициент оребрения которых  $\varphi = 3-8$  [3-6].

При параллельной подгибке ребер интенсификация (рост) теплоотдачи составляет 10-13% и сопровождается увеличением сопротивления в 1,46 раза. Основной вывод этих исследований – параллельную подгибку целесообразно применять только для уменьшения габаритов. Он базируется на результатах тепло-

аэродинамических экспериментов поверхностей нагрева с малыми коэффициентами оребрения применительно к парогенераторам, не применяемыми в промышленных АВО.

В теплообменных секциях современных АВО последнего поколения исключительно используются биметаллические трубы со спиральными алюминиевыми ребрами с большим значением коэффициента оребрения  $\phi \approx 20-21$  при высоте ребра  $h \approx 15-15,5$  мм с шагом  $s \approx 2,3-2,5$  мм и наружным диаметром ребра  $d = 57$  мм [7]. Применяется шахматная равносторонняя компоновка труб с шагом разбивки  $S_1 = S_2' = 63-64$  мм. Указанные значения  $\phi$  являются предельно достигнутыми в серийном промышленном оребрении труб методами поперечно-винтовой накатки ВНИИметмаш или спиральной навивки поставленной на ребро алюминиевой ленты толщиной  $\Delta = 0,4$  мм L-образного поперечного сечения с использованием технологии и оборудования ЭНИКмаш [7, 8]. Таким образом, повышение тепловой эффективности теплообменных секций и всего АВО в целом увеличением площади поверхности оребрения достигло потенциальной возможности, и на этом направлении не следует ожидать существенных количественных значений снижения массы аппарата или увеличения теплового потока в неизменных габаритах.

В Беларуси и странах СНГ находятся в эксплуатации тысячи АВО первого поколения, в которых теплообменные секции состоят из тесных шахматных равносторонних пучков с шагом  $S_1 = S_2' = 52$  мм из биметаллических труб  $d = 49$  мм и  $\phi = 15,2$ . Биметаллические ребристые трубы имеют поперечно-винтовые накатные алюминиевые ребра средней толщины  $\Delta \approx 0,7-0,8$  мм повышенной жесткости. Однако БРТ с навитыми ребрами легко подгибаются без приложения ощутимых усилий в осевом направлении. В большинстве случаев БРТ этих АВО физически изношены (сильно загрязнены, алюминий подвергнут воздействию атмосферной коррозии) и требуют замены. Это возможно достигнуть двумя путями: применением вновь изготовленных БРТ с геометрическими параметрами демонтируемых труб или применением БРТ повышенной тепловой эффективности ( $\phi \approx 20-21$ ) с  $d = 57$  мм (трубы второго поколения), что позволит увеличить отводимый тепловой поток аппаратом при неизменных габаритах. Но для такой сборочной операции потребуется осуществить параллельную подгибку ребер, чтобы осуществить их размещение с шагом в трубной решетке  $S_1 = 52$  мм или  $S_1 = 58$  мм.

Известна теплообменная труба [9] с поперечными ребрами разной высоты для воздухо-

охлаждаемых теплообменников, в которой между ребрами большой высоты размещены ребра на  $1/3$  меньшей высоты. Промышленный интерес к этой конструкции применительно к АВО заключается в отработанном технологическом процессе изготовления [10] навитых алюминиевых ребер на оборудовании ЭНИКмаш, возможности повышения эксплуатационной надежности теплообменных секций из-за меньшей загрязняемости поверхности оребрения и предотвращения при подгибке защемления с ребрами соседних труб поперечного ряда для очень тесных компоновок. Трубы с разновысокими ребрами увеличивают высоту подогнутого сегмента  $h_c$  ребра приблизительно в два раза ( $h_c \approx 2s$ ) в сравнении с его величиной для БРТ с ребрами одинаковой высоты, которая не может быть больше шага ребер  $s$ . Компактность пучка возрастет в 1,22 раза против 1,06–1,11 раза. Известно, что компактным пучкам свойственна повышенная тепловая (энергетическая) эффективность, позволяющая увеличивать тепловой поток секции до 20%.

Применение БРТ АВО с параллельной подгибкой равновысоких [10] спиральных навитых алюминиевых ребер с шагом  $s = 2,53$  мм,  $\Delta = 0,4$  мм и  $\phi \approx 20,77$  при условно свободной компоновке  $S_1 = S_2' = 63,5$  мм в шахматном шестирядном пучке интенсифицирует теплоотдачу до 10% при таком же росте аэродинамического сопротивления, но переход к тесной компоновке этих труб до  $S_1 = 52$  мм сопровождается повышением теплоотдачи до 18% при опережающем росте аэродинамического сопротивления до 68% по сравнению с соответствующим характеристиками исходного пучка до подгибки ребер. Однако недостаточно изучена теплоотдача шахматных пучков труб с параллельной подгибкой высокого ребра до соприкосновения с вершиной низкого ребра и подгибкой высоких ребер «на квадрат». На рис. 1 приведены фотографии труб с разной формой ребер.



Рис. 1. Внешний вид ребристых труб

Цель работы – экспериментальное исследование теплоаэродинамических характеристик пучков из труб с навитыми KLM-ребрами различной формы.

**Основная часть.** Объектом теплоаэродинамических исследований являлись три (I, II, III) шахматных шестирядных пучка, обтекаемых поперечным изотермическим потоком воздуха. Пучки собирали из БРТ натуральных размеров с высотой (длиной) оребрения  $H = 400$  мм, а отрезная длина труб составила 430 мм. БРТ изготовлены ЭНИКмаш (г. Воронеж) с двухзаходными навитыми спиральными алюминиевыми KLM-ребрами [10], у которых горизонтальная полка механически закатана в предварительно нанесенные на наружной поверхности несущей стальной трубы диаметром  $25 \times 2$  мм продольно-радиальные бороздки – выступы небольших размеров. Геометрические параметры ребер характерны для теплообменных секций АВО.

Пучок I собирали из БРТ с разновысокими прямыми ребрами (рис. 2), расположенными в вершинах равностороннего треугольника с шагом  $S_1 = S_2' = 63,5$  мм,  $S_2 = 55$  мм. Геометрические параметры оребрения: наружный диаметр ребра первого  $d_1 = 55,74$  мм и второго  $d_2 = 46,5$  мм захода; высота ребра первого  $h_1 = 14,92$  мм и второго  $h_2 = 10,3$  мм захода; диаметр по основанию ребра  $d_0 = d_1 - 2h_1 = d_2 - 2h_2 = 25,9$  мм; шаг ребра  $s_1 = s_2 = 5,2$  мм; средняя

толщина ребра  $\Delta = 0,4$  мм; коэффициент оребрения трубы  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 10,2 + 6,6 = 16,8$ .

Высота низких ребер (второго захода) выбиралась такой, чтобы после подгибки высоких ребер до касания с низкими БРТ могли быть установлены в решетках с поперечным шагом  $S_1 = 52$  мм, применяемым в секциях АВО из труб с накатными алюминиевыми ребрами при  $\varphi = 9,4$ .

После завершения испытаний пучка I прямые высокие ребра БРТ были подогнуты параллельно друг другу вдоль образующей с двух боковых сторон (рис. 3) до размера  $b = 49$  мм. Степень подгибки ребра  $h_n / h_1 = 4,62 / 14,92 = 0,31$ . Из этих труб был собран пучок II с шагами размещения труб в решетке  $S_1 = 52$  мм и  $S_2 = 55$  мм (шаг  $S_2$  остался прежним, как в пучке I). Направление движения воздуха было параллельно подогнутым ребрам.

Далее оставшиеся сегменты прямых высоких ребер БРТ пучка II были дополнительно подогнуты вдоль образующей с боковых сторон до размера  $b = 49$  мм, в итоге исходные трубы I с прямыми разновысокими ребрами трансформировались в БРТ с полностью подогнутыми ребрами «на квадрат» в плане (рис. 4). Из них собран пучок III с шагами  $S_1 = 52$  мм и  $S_2 = 55$  мм, которые были в пучке II. Возникли замкнутые межреберные каналы с небольшими открытыми для прохода воздуха угловыми пространствами (рис. 4) [11].

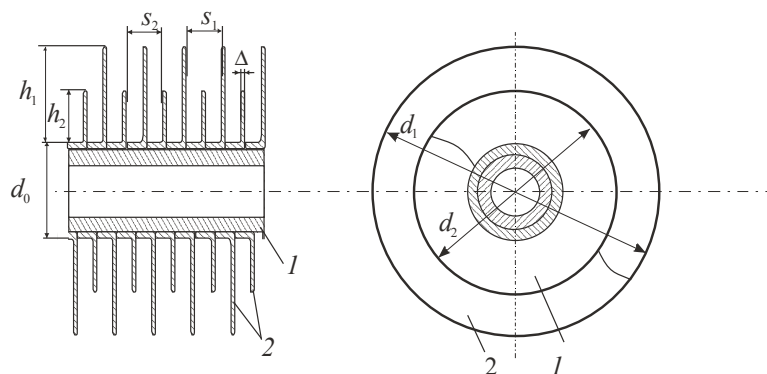


Рис. 2. Схема биметаллической трубы с разновысокими прямыми KLM-ребрами:  
1 – несущая труба; 2 – KLM-ребра

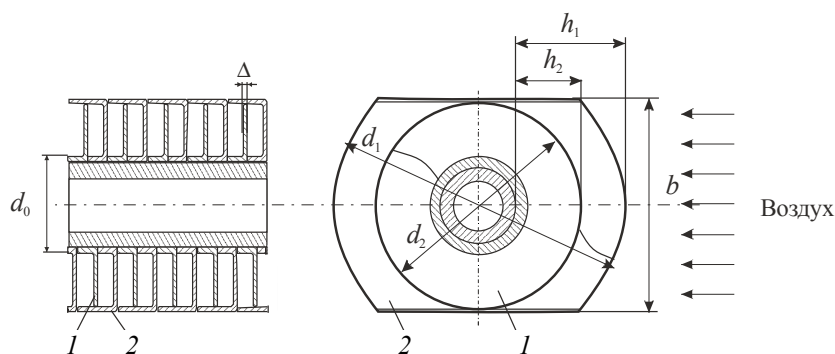


Рис. 3. Схема биметаллической трубы с параллельно подогнутыми KLM-ребрами:  
1 – низкое прямое ребро; 2 – высокое подогнутое ребро



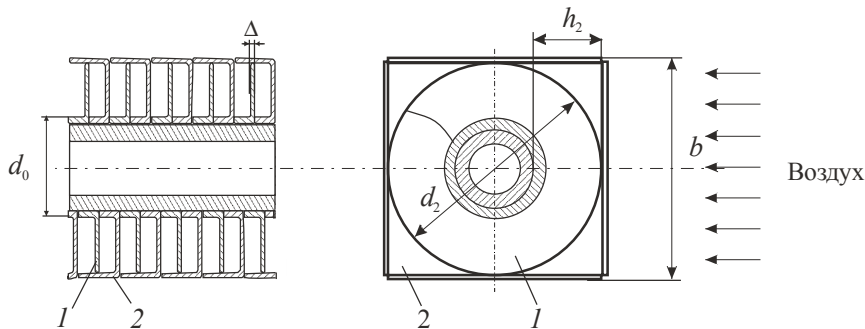


Рис. 4. Схема биметаллической трубы с подогнутыми «на квадрат» KLM-ребрами:

1 – низкое прямое ребро; 2 – высокое подогнутое ребро

Опытные пучки устанавливали в рабочем участке с поперечным сечением 400×400 мм разомкнутой аэродинамической трубы [12]. Схема трубы, аппаратное оформление и методика исследования изложены в работах [8, 10]. Теплоотдача изучалась локальным тепловым моделированием. Применен парозлектрический калориметр [8]. Средний приведенный коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  вычисляли как среднее арифметическое коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_i$  всех шести поперечных рядов. Тепловая проводимость контакта не учитывалась. Коэффициенты  $\alpha_i$ ,  $\alpha$  отнесены к полной площади поверхности оребрения трубы-калориметра.

Опытные данные обрабатывали и представляли в безразмерных числах подобия Нуссельта  $Nu_i = \alpha_i d_0 / \lambda$ ,  $Nu = \alpha d_0 / \lambda$ , Рейнольдса  $Re = \omega d_0 / \nu$ , Эйлера  $Eu = \Delta p / (\rho \omega^2)$ , где  $\alpha_i$  – приведенный коэффициент теплоотдачи, отнесенный к полной теплоотдающей площади поверхности оребрения калориметра  $i$ -го ряда, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);  $\omega$  – скорость воздуха в сжатом поперечном сечении пучка, м/с;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $\Delta p$  – перепад статического давления воздуха в пучке, Па;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>. Физические параметры воздуха  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $\rho$  определялись по его средней температуре в пучке.

Максимальная относительная квадратичная погрешность полученных в опытах значений  $Nu_i$ ,  $Re$  и  $Eu$  не превышала соответственно 6,5; 4,1; 5%.

Обобщение полученных результатов выполнено с помощью уравнений подобия степенного вида:

$$Nu_i = C_i Re^{n_i}; \quad Nu = C Re^n; \quad (1)$$

$$Eu = B Re^{-m}, \quad (2)$$

где  $C_i$ ,  $C$ ,  $B$  – коэффициенты пропорциональности;  $n$ ,  $n_i$ ,  $m$  – показатели степени. Скорость

воздуха в сжатом поперечном сечении пучков изменялась в диапазоне  $\omega = 2-15$  м/с.

Значения коэффициентов в уравнениях подобия (1), (2), компактность пучка  $\Pi = \pi d_0 \phi / (S_1 S_2)$  и значения чисел подобия Нуссельта и Эйлера для характерных значений  $Re = 3000$  и  $20\,000$  представлены в табл. 1.

Уравнения (1), (2) действительны в интервале значений  $Re = (3-25) \cdot 10^3$ .

Таблица 1

**Значения коэффициентов в уравнениях подобия (1), (2)**

Коэффициент	Номер рядов в пучке	Номер пучка		
		I	II	III
$C_i \cdot 10$	1	1,07	0,74	0,30
	2–6	0,69	0,84	0,36
$n_i \cdot 10$	1	6,4	6,7	7,8
	2–6	7,1	6,8	7,6
$C \cdot 10$	–	0,784	0,825	0,349
$n \cdot 10$	–	6,98	6,78	7,63
$B$	–	15,5	10,4	9,3
$m \cdot 10$	–	2,2	1,7	1,2
$S_1$ , мм	–	63,5	52,0	52,0
$\Pi$ , м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	–	391	478	478
<b>Re = 3000</b>				
$Nu$	–	19,89	18,79	15,7
$Eu$	–	2,66	2,67	3,56
<b>Re = 20 000</b>				
$Nu$	–	74,8	68,0	66,8
$Eu$	–	1,75	1,93	2,83

Характер изменения теплоотдачи (рис. 5) по рядам пучка I из труб с разновысокими прямыми ребрами качественно подобен этому процессу для пучка с прямыми ребрами одинаковой высоты [10].

Теплоотдача стабилизированных рядов (второго – шестого) пучка I на 17% при  $Re = 5 \cdot 10^3$  и на 29% при  $Re = 20 \cdot 10^3$  выше теплоотдачи первого ряда, что объясняется турбулизацией воздуха трубами первого ряда.



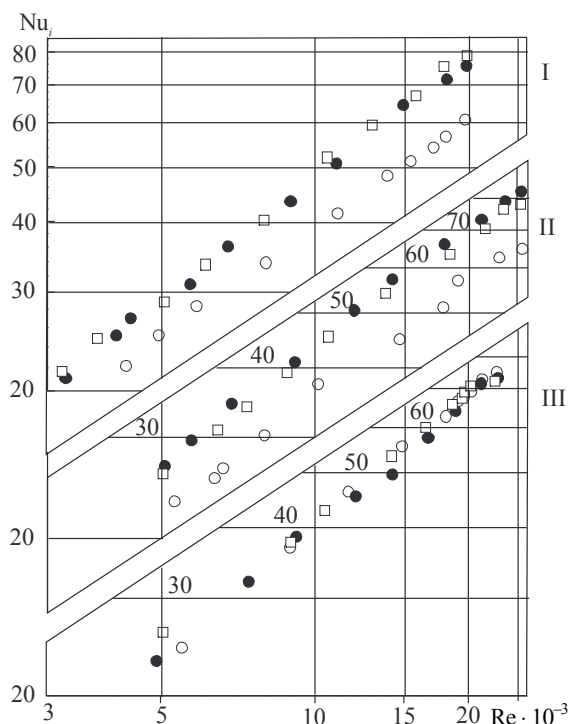


Рис. 5. Зависимость безразмерного коэффициента теплоотдачи  $Nu_i$  поперечных рядов пучков I–III с прямыми и подогнутыми KLM-ребрами от безразмерной скорости воздуха  $Re$ :  
○, ●, □ – опытные данные для первого, третьего и пятого рядов в пучке

В пучке II с параллельно подогнутыми ребрами, так же как и в пучке I, теплоотдача стабилизированных рядов в среднем на 24% больше во всем диапазоне  $Re$  этой характеристики первого ряда. Сравнение данных с пучком I показывает следующее. Параллельная подгибка сопровождается уменьшением теплоотдачи на 8% как в первом, так и стабилизированных рядах с соответствующими характеристиками пучка I. На указанное значение произошло и снижение средней теплоотдачи пучка II, но аэродинамическое сопротивление (рис. 6) в среднем возросло на 6% в интервале  $Re = (3–25) \cdot 10^3$ .

Параллельная подгибка, несмотря на применение тесной компоновки труб в пучке II (уменьшение  $S_1$  от 63,5 до 52 мм), не способствовала интенсификации процесса теплоотдачи. Компактность пучка увеличилась на 22%. Подгибка ребер сопровождается образованием в области миделева сечения труб замкнутых межреберных каналов, в которых поток воздуха движется линейно и не перемешивается в поперечном направлении с той частью потока, которая движется в межтрубном пространстве, что снижает общую турбулентность потока и ухудшает интенсивность теплоотдачи в сравнении с пучком I.

Зазор  $S_1 - b$  между трубами в пучке II приблизительно одинаков с межреберным зазором

$s - \Delta$ , поэтому расходы воздуха через эти сечения одного порядка.

Изменился характер зависимости  $Eu = f(Re)$  пучков II, III с подогнутыми ребрами, кривые сопротивления располагаются более полого в сравнении с кривой пучка I с прямыми ребрами, что свидетельствует о новой гидродинамической картине обтекания воздухом труб с подогнутыми ребрами.

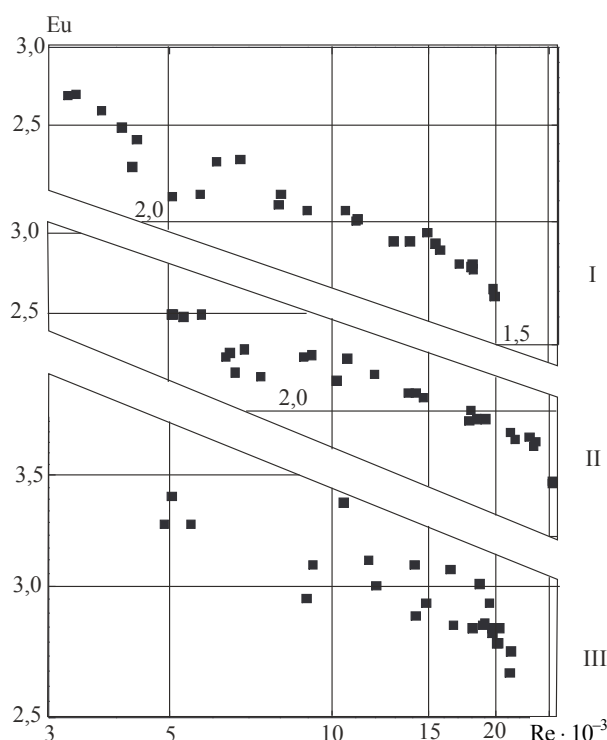


Рис. 6. Зависимость аэродинамического сопротивления шестирядных пучков I–III с прямыми и подогнутыми KLM-ребрами от безразмерной скорости воздуха  $Re$ :  
■ – опытные данные

Несколько иначе протекает процесс теплоотдачи в пучке III с подогнутыми ребрами «на квадрат». Не отмечено изменения теплоотдачи в поперечных рядах по направлению движения воздуха. Она практически одинакова, т. е. теплоотдача первого (начального) ряда повысилась до уровня теплоотдачи стабилизированных рядов и выше приблизительно на 3–20% теплоотдачи первого ряда пучка II. Видимо, дополнительная подгибка ребер с лобовой и кормовой половины труб положительно сказалась на межреберной турбулентности воздуха. Но теплоотдача стабилизированных рядов ухудшилась в 1,18–1,06 раза в сравнении с аналогичной характеристикой таких рядов пучка II. В целом применение квадратичной подгибки ребер вызвало ухудшение средней теплоотдачи пучка III в сравнении с пучком II на 26% для  $Re = 3 \cdot 10^3$ , на 2% для  $Re = 20 \cdot 10^3$ , а в сравнении

с исходным пучком I (прямые ребра) это будет соответственно 27 и 12%.

Ожидания ощутимого снижения теплоотдачи вследствие квадратной подгибки ребер не оправдались. Предполагали, что процесс переноса тепла в закрытых прямоугольного сечения межреберных каналах окажется подобным теплопередаче в замкнутых узких воздушных прослойках с теплопроводностью под воздействием конвективных токов.

В рассматриваемой конструкции трубы III в углах квадратных межреберных каналов подогнутые ребра лишь частично перекрывают друг друга, возникали небольшие сквозные входные с лобовой и выходные с тыльной стороны щели, которые продувались небольшой частью вынужденного потока воздуха, что улучшало развитие теплопередачи между ребрами и исключало подобие процессов. Создание процесса термоаэрозашиты в чистом виде реализовать не удалось, но заложенные предпосылки для этого правильны и работоспособны.

Трубу III нельзя рассматривать как конструкцию с организованной 100%-ной термоаэрозашитой, но ухудшенный теплообмен в ней позволяет предотвратить переохлаждение до замерзания жидкого энергоносителя в первых рядах АВО.

Квадратная подгибка (пучок III) сопровождается значительным ростом аэродинамического сопротивления в 1,34–1,62 раза по отношению к сопротивлению исходного пучка I с разновысокими ребрами. Собственно, влияние подгибки на этот результат несколько меньше, так как в отмеченную величину включена часть сопротивления от перехода на тесную компоновку труб в пучке III.

Выполненное исследование позволило определить термическое контактное сопротивление (ТКС)  $R_k$  трубы I с навитыми прямыми разновысокими спиральными алюминиевыми KLM-ребрами. Получено по методике [8] значение  $R_k \approx 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  для интервала средней температуры контактной зоны  $t_k = 89,8\text{--}72,2^\circ\text{C}$ . Тепловая проводимость контакта  $\alpha_k = 1 / R_k \approx 2940 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , которая является приемлемой и находится на уровне теплоотдачи однофазных органических энергоносителей при вынужденном движении [8].

Также изучена возможность применения обобщенных уравнений подобия АЛТИ – АГТУ [7, 8] В. Б. Кунтыша и КПИ (Киевского политехнического института) [5] Е. Н. Письменного для расчета средней теплоотдачи шахматного шестирядного пучка из труб с разновысотными ребрами (пучок I). Погрешность обобщенных уравнений составляет  $\pm 15\%$ .

При расчете теплоотдачи по указанным обобщенным уравнениям предполагали замену в пучке I труб с разновысотными ребрами на трубы с ребрами одинаковой высоты средних параметров  $h = 0,5 (h_1 + h_2) = 12,61 \text{ мм}$ ;  $d = d_0 + 2h = 51,12 \text{ мм}$ ;  $s = 0,5 s_1 = 0,5 s_2 = 2,6 \text{ мм}$ .

Расчеты выполнены для температуры воздуха в пучке  $50^\circ\text{C}$  и скорости воздуха в сжатом сечении пучка  $w = 2,61; 13,05 \text{ м/с}$ . В опытные значения теплоотдачи вводилась поправка на локальный метод моделирования [8]. Сходимость опытных  $Nu_{оп}$  и расчетных значений  $Nu_p$  теплоотдачи оценивали выражением  $\delta Nu = (Nu_{оп} - Nu_p) \cdot 100\%$ . Сравнительные результаты расчета сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Данные расчета теплоотдачи по разным методикам**

Наименование	$w = 2,61 \text{ м/с}$		$w = 13,05 \text{ м/с}$	
	$Nu_{оп}$	$Nu_p$	$Nu_{оп}$	$Nu_p$
АЛТИ – АГТУ	19,56	21,94	65,78	64,56
$\delta Nu, \%$	–12,2		+1,85	
КПИ	19,56	22,91	65,78	66,28
$\delta Nu, \%$	–17,1		–0,75	

Таким образом, расчеты теплоотдачи пучка из труб с разновысокими ребрами по уравнениям АЛТИ – АГТУ и КПИ приведут к согласованным с опытными данными результатам в случае применения модели пучка труб со средними параметрами оребрения.

**Заключение.** Предложены критериальные уравнения подобия для теплоотдачи и аэродинамического сопротивления шахматных шестирядных пучков аппаратов воздушного охлаждения из труб с навитыми алюминиевыми KLM-ребрами с параллельной и квадратной подгибкой их.

Параллельная боковая подгибка ребер ухудшила интенсивность теплоотдачи на 8% при росте аэродинамического сопротивления шахматных пучков на 6% для труб с разновысокими ребрами. Основное преимущество пучков с подогнутыми ребрами – повышенная компактность в сравнении с прямыми ребрами. Необходим дальнейший поиск оптимальной степени подгибки ребер, которая окажет интенсифицирующее влияние на теплоотдачу и повышение энергетической эффективности пучков АВО.

Подгибка ребер «на квадрат» снизила теплоотдачу пучка до 26% при одновременном повышении его сопротивления до 62%. Конструкция трубы с подогнутыми квадратными ребрами может рассматриваться лишь частично в качестве трубы с термоаэрозашитой.

### Литература

1. Сухорукова В. Г., Ревенков Л. Н. Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: НИИТЭхим, 1968. 35 с.
2. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. 472 с.
3. Экспериментальное исследование новой поверхности нагрева из труб со спиральными поогнутыми ребрами / В. Н. Фомина [и др.] // Теплоэнергетика. 1990. № 9. С. 53–56.
4. Липец А. У., Андреева А. Я., Поверхность нагрева из труб со спирально-ленточным оребрением // Энергетика. 1996. № 10. С. 15–17.
5. Письменный Е. Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребранных труб. Киев: Альтерпресс, 2004. 182 с.
6. Письменный Е. Н., Терех А. М., Руденко А. И. Конвективный теплообмен шахматных пакетов труб с параллельной подгибкой поперечных ребер // Промышленная теплотехника. 2010. Т. 32, № 2. С. 31–41.
7. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. 512 с.
8. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 280 с.
9. Теплообменная труба: а. с. СССР 1725062 / В. П. Мулин [и др.]; заявл. 07.05.90; опубл. 07.04.92 // Бюл. изобр. 1992. № 13. С. 54.
10. Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление шахматных пучков из круглых труб с поогнутыми спиральными KLM-ребрами / В. Б. Кунтыш [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2003. № 11. С. 10–14.
11. Теплообменная секция: патент РФ 2213920 / В. П. Мулин, В. И. Кочетов, Р. Ф. Теляев, В. Б. Кунтыш, В. И. Мелехов, А. В. Самородов; заявл. 16.07.2001; опубл. 10.10.2003 // Бюл. изобр. 2003. № 28. С. 63.
12. Экспериментальное исследование теплоотдачи и сопротивления пучков АВО из биметаллических труб / В. Б. Кунтыш [и др.] // Изв. вузов. Энергетика. 1998. № 12. С. 89–93.

### References

1. Sukhorukova V. G., Revenkov L. N. *Apparaty vozdušnogo okhlazhdeniya dlya tekhnologicheskikh ustanovok v khimicheskoy, neftekhimicheskoy i neftepererabatyvayushchey promyshlennosti* [Air-cooled apparatuses for technological installations in the chemical, petrochemical and oil refining industries]. Moscow, NIITEKhim Publ., 1968. 35 p.
2. Zhukauskas A. A. *Konvektivnyy perenos v teploobmennikakh* [Convective transfer in heat exchangers]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 472 p.
3. Fomina V. N., Abramova T. V., Titova Ye. Ya., Barbakadze I. N., Andreyeva A. Ya. Experimental study of the new heating surface from tubes with spiral bent ribs. *Teploenergetika* [Thermal Energy], 1990, no. 9, pp. 53–56 (In Russian).
4. Lipets A. U., Andreyeva A. Ya. Heating surface from tubes with spiral-ribbon finning. *Energetika* [Energy], 1996, no. 10, pp. 15–17 (In Russian).
5. Pis'mennyy Ye. N. *Teploobmen i aerodinamika paketov poperechno-orebrennykh trub* [Heat transfer and aerodynamics of packages of transverse-finned tubes]. Kiev, Al'terpress Publ., 2004. 182 p.
6. Pis'mennyy Ye. N., Terekh A. M., Rudenko A. I. Convective heat transfer between stacks of tubes with parallel bending of transverse ribs. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2010, vol. 32, no. 2, pp. 31–41 (In Russian).
7. Kuntyshev V. B., Bessonnyy A. N. (eds.) *Osnovy rascheta i proyektirovaniya teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya: spravochnik* [Fundamentals of Calculation and Design of Heat Exchangers of Air Cooling: handbook]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1996. 512 p.
8. Kuntyshev V. B., Kuznetsov N. M. *Teplovoy i aerodinamicheskiy raschety orebrennykh teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya* [Thermal and Aerodynamic Calculations of Finned Air Cooling Heat Exchangers]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1992. 280 p.
9. Mulin V. P., Kochetov V. I., Chernikin N. I., Varma K. A., Bil'din M. P. *Teploobmennaya truba* [Heat exchange tube]. A. s. USSR, no. 1725062, 1992.
10. Kuntyshev V. B., Piir A. E., Mulin V. P., Telyayev R. F. Heat transfer and aerodynamic resistance of chess beams from round tubes with bent spiral KLM ribs. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye* [Chemical and Oil and Gas Engineering], 2003, no. 11, pp. 10–14 (In Russian).

11. Mulin V. P., Kochetov V. I., Telyayev R. F., Kuntyshev V. B., Melekhov V. I., Samorodov A. V. *Теплообменная секция* [Heat transfer section]. Patent RF, no. 2213920, 2003.

12. Kuntyshev V. B., Piir A. E., Yegorov A. I., Shmerkovich V. M. Experimental study of heat transfer and resistance of AVO beams from bimetallic tubes. *Izvestiya vuzov. Energetika* [Higher Education News. Energy], 1998, no. 12, pp. 89–93 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Кунтыш Владимир Борисович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [egit@belstu.by](mailto:egit@belstu.by)

**Сухоцкий Альберт Борисович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [alk2905@mail.ru](mailto:alk2905@mail.ru)

**Пиир Адольф Эдвардович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплотехники и теплоэнергетики. Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) имени М. В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: [ado@piir.ru](mailto:ado@piir.ru)

**Мулин Виктор Петрович** – инженер ЗАО «Октябрьскхиммаш» (452613, г. Октябрьский, ул. Трудовая, 2/1, Республика Башкортостан, Российская Федерация).

#### Information about the authors

**Kuntyshev Vladimir Borisovich** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [egit@belstu.by](mailto:egit@belstu.by)

**Sukhotski Al'bert Borisovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [alk2905@mail.ru](mailto:alk2905@mail.ru)

**Piir Adol'f Edvardovich** – DSc (Engineering), Professor, the Department of Heat Engineering and Heat Power Engineering. Northern (Arctic) Federal University of M. V. Lomonosov (17, Emb. of Northern Dvina, Arkhangel'sk, 163002, Russian Federation). E-mail: [ado@piir.ru](mailto:ado@piir.ru)

**Mulin Victor Petrovich** – engineer of Joint-Stock Company "Oktoberkhimmash" (2/1, Trudovaya str., 452613, Otyabr'skiy, Republic of Bashkortostan, Russian Federation).

*Поступила 11.09.2019*

УДК 621.1

**А. Э. Пиир<sup>1</sup>, А. Б. Сухоцкий<sup>2</sup>, В. Б. Кунтыш<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова  
(Российская Федерация)<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАЛОННОГО  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ЭДВАРДСА**

Основное направление технической политики России в области энергетики – совершенствование технологии ее производства. Программные документы предлагают решать эту задачу в первую очередь за счет повышения начальных параметров рабочего тела паротурбинных и газотурбинных энергоустановок с внедрением новых жаропрочных материалов. Неизбежное при этом удорожание оборудования отрицательно скажется на себестоимости энергии.

Известно, что энергетические установки всего мира для получения энергии используют, как правило, паровой термодинамический цикл Ренкина или газовые термодинамические циклы Джоуля, Дизеля, Отто, которые далеки от совершенства. Несмотря на это, советская термодинамическая школа ошибочно считает цикл Карно эталоном совершенства для энергоустановок, действующих на продуктах сгорания топлива, а термодинамический цикл Ренкина – превосходной реализацией этого цикла. Для совершенствования прочих циклов предполагалась их «карно-тизация», проекты которой успехом не увенчались.

В действительности эталоном теплового совершенства для двигателей внутреннего и внешнего сгорания, источником тепла которого служит топливо, а тепловым стоком – окружающая среда, является внешне и внутренне обратимый цикл Эдвардса.

В цикле Эдвардса в качестве источника теплоты используются продукты сгорания топлива, а тепловой сток осуществляется в окружающую среду. Цикл образован изохорным, адиабатным, изотермическим процессами. Рассмотрены два варианта реализации цикла: на базе газотурбинного двигателя и с помощью комбинированной газопаровой установки. Осуществлены расчеты термического КПД цикла газотурбинной установки (ГТУ), реализующего эталонный цикл Эдвардса, и комбинированной установки. Также вычислены КПД циклов Джоуля, Карно, Ренкина, Отто при одинаковых температурных условиях. Показано, что внедрение энергоустановок с реализацией цикла Эдвардса не имеет инженерных трудностей, при этом он обеспечивает экономию топлива на 12–20% в сравнении с циклом Ренкина, широко применяемым в паротурбинных установках. Внедрение цикла Эдвардса является наиболее простым способом совершенствования энергетики.

**Ключевые слова:** эталонный цикл, термический КПД, цикл Карно, газотурбинный цикл.

**A. E. Piir<sup>1</sup>, A. B. Sukhotski<sup>2</sup>, V. B. Kuntys<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Northern (Arctic) Fedral University of M. V. Lomonosov<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**WAYS OF IMPLEMENTATION OF THE REFERENCE  
EDWARDS'S THERMODYNAMIC CYCLE**

Main route of a technical policy of Russia in the field of power engineering – perfection of production engineering of its manufacture. Programm deeds suggest to solve this problem first of all at the expense of raise of initial parametres of a working medium of the steam-turbine and газотурбинных power installations, introducing new high-temperature materials. Inevitable thus equipment rise in price negatively affects the energy cost price.

It is known that power installations of the whole world for energy reception use, as a rule, steam thermodynamic cycle of Renkina or gas thermodynamic cycles of Joule, the Injection engine, Otto which are far from perfect.

Despite it the Soviet thermodynamic school wrongly considers a Carnot cycle as the standard of perfection for the power installations acting on products of combustion of fuel, and a thermodynamic cycle of Renkina excellent implementation of this cycle. For perfection of other cycles it was assumed them «Carnotion» which designs success did not crown.

Actually the standard of thermal perfection for propellers of the internal and external combustion as which heat source fuel serves, and a thermal flow – environment, is outwardly and Edwards's internally reversible cycle.

In Edwards's scraper in the capacity of a warmth source products of combustion of fuel are used, and the thermal flow is carried out in a circumambient. The cycle is formed изохорным, adiabatic, isothermal by processes. Two alternatives of implementation of a cycle are observed: on the basis of the gas-turbine engine and by means of combined газопаровой installations. Calculations of thermal efficiency of gas-turbine plant cycle realising a reference cycle of Edwards, and the combined installation are carried out. Also efficiency of cycles of Joule, Carnot, Renkina, Otto are computed under equal temperature conditions. It is shown that a heading of power installations with implementation of a cycle of Edwards has no engineering difficulties, thus it provides a fuel economy on 12–20 % in comparison with the cycle of Renkina widely applied in steam-turbine plants. A heading of a cycle of Edwards is most simple way of perfection of power engineering.

**Key words:** reference cycle, thermal efficiency, a Carnot cycle, gas-turbine cycle.

**Введение.** Проблема экономичности тепловых двигателей возникла в начале XVIII века одновременно с появлением первых паровых машин, потребляющих значительное количество топлива. Ее решение получил Сади Карно, опубликовав в 1824 г. сочинение [1], в котором сформулировал условия достижения высокого КПД:

1) «движущая сила огня» не зависит от рабочего тела и тем выше, чем больше теплопадение между верхним и нижним источником теплоты;

2) работа цикла будет максимальной, если все термодинамические процессы будут внешние и внутренне обратимы.

Со времен С. Карно КПД тепловых двигателей вырос более чем в 40 раз, но проблема тепловой экономичности по-прежнему актуальна, так как непрерывный рост потребления топлива на тепловых электростанциях, морским, автомобильным, железнодорожным и авиационным транспортом сопровождается увеличением его стоимости.

Термодинамическое совершенство современных тепловых двигателей, как правило, оставляет желать лучшего, поскольку установки внешнего сгорания, действующие по циклу Ренкина или Стирлинга, отвечают условию внешней обратимости лишь в части отвода теплоты в окружающую среду, а передача теплоты от продуктов сгорания к рабочему телу протекает в них необратимо.

В двигателях внутреннего сгорания, действующих по циклам Отто, Дизеля, Джоуля, подвод теплоты при сгорании топлив в атмосфере сжатого воздуха протекает обратимо, но отвод теплоты выхлопных газов в изотермическую окружающую среду протекает необратимо с потерей эксергии.

При использовании в качестве источника тепла продуктов изобарного (лучше изохорного) сгорания топлива в атмосфере сжатого воздуха, а в качестве теплового стока изотермической окружающей среды, условиям внешней и внутренней обратимости отвечает идеальный цикл Эдвардса [2]. Как видно из рис. 1, а, его

образуют адиабатные процессы сжатия воздуха 1–2 и расширения продуктов сгорания 3–4, изобарного горения топлива 2–3 и изотермического сжатия 4–1. Термический КПД идеального цикла Эдвардса вычисляется по формуле

$$\eta_t^E = 1 - \frac{T_0}{T_{1cp}} = 1 - \frac{T_1 \ln(T_3 / T_2)}{T_3 - T_2},$$

где  $T_{1cp}$  – средняя термодинамическая температура подвода теплоты на участке 2–3, К;  $T_0 = T_1$  – температура окружающей среды, К;  $T_2$  – температура сжатого воздуха, К;  $T_3$  – температура продуктов сгорания, К.

При температуре  $T_1 = 300$  К,  $T_2 = 450$  К, степени сжатия воздуха  $\pi = p_2 / p_1 = 4,13$  и температуре продуктов сгорания  $T_3 = 1500$  К, термический КПД цикла Эдвардса составит

$$\eta_t^E = 1 - \frac{300 \ln(1500 / 450)}{1500 - 450} = 0,657.$$

При том же самом источнике теплоты – продуктах сгорания с температурой 1500–450°C, термический КПД известных термодинамических циклов (рис. 1 б, в, г) равен:

идеального цикла Джоуля [3]

$$\eta_t^D = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{450} = 0,333;$$

идеального цикла Отто [3]

$$\eta_t^O = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{450} = 0,333;$$

идеального цикла Карно для двигателя внешнего сгорания

$$\eta_t^K = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{450} = 0,333.$$

КПД идеального цикла Ренкина при давлении свежего пара  $p_{св} = 14$  МПа и температуре насыщения  $T_{св} = 608$  К [4]

$$\eta_t^R = 1 - \frac{T_1}{T_{св}} = 1 - \frac{300}{608} = 0,51.$$



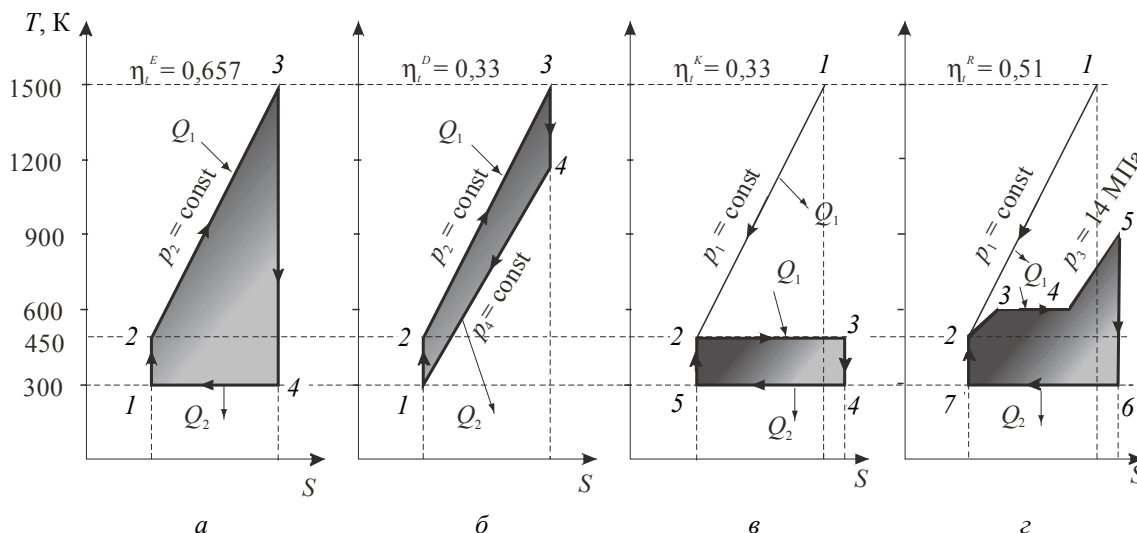


Рис. 1. Идеальные термодинамические циклы Эдвардса (а), Джоуля (б), Карно (в) и Ренкина (г)

при одинаковом изобарном источнике тепла и процессы в них:  
 а: 1–2 – адиабатное сжатие; 2–3 – изобарный нагрев; 3–1 – адиабатное расширение; 4–1 – изотермическое сжатие; б: 1–2 – адиабатное сжатие; 2–3 – изобарный нагрев; 3–1 – адиабатное расширение; 4–1 – изобарное охлаждение;  
 в: 1–2 – изобарное охлаждение; 2–3 – изотермическое расширение; 3–1 – адиабатное расширение; 4–5 – изотермическое сжатие; 5–2 – адиабатное сжатие;  
 г: 1–2 – изобарное охлаждение; 2–3 – изобарный нагрев воды; 3–4 – испарение воды; 4–5 – нагрев пара; 5–6 – адиабатное расширение пара; 6–7 – конденсация пара; 7–2 – адиабатное сжатие

Таким образом, при использовании одного и того же источника тепла – продуктов сгорания топлива с температурой от 1500 до 450 К циклы Эдвардса и Ренкина имеют наибольшие КПД – 0,657 и 0,510, а остальные циклы Джоуля, Отто и Карно – 0,333.

Советская теплотехническая школа считала цикл Карно эталоном теплового совершенства энергоустановок [5–9] на органическом топливе, в цикл Ренкина – его реализацией. По этой причине проект «карнотизации» циклов газотурбинных [10] и парогазовых [11] установок привел к скромным результатам и внедрением не увенчался.

Теперь же, когда эталонный цикл для установок на продуктах сгорания топлива известен, возникает вопрос о способах его реализации. Рассмотрим два варианта реализации: на базе газотурбинного двигателя и с помощью комбинированной газопаровой установки. Как показано на рис. 2, а, газотурбинный вариант установки состоит из нескольких ступеней сжатия атмосферного воздуха с промежуточными охладителями, камеры сгорания и газовой турбины с глубоким расширением продуктов сгорания. Отвод теплоты в окружающую среду приближен к обратимому. Вычислим термический КПД этого цикла, считая теплоемкость рабочего тела равной единице, а энтальпию численно

равной единице. Пусть минимальная и максимальная температуры цикла и температура сжатого воздуха будут те же, что и в эталонном цикле: 1500 К, 450 К, 300 К.

При трех ступенях сжатия со степенью повышения температуры  $\tau = 450 / 300 = 1,5$  каждая степень понижения температуры в турбине  $\tau_t = \tau^3 = 1,5^3 = 3,375$ . Температура уходящих газов из турбины составит  $T_8 = T_7 / \tau_t = 1500 / 3,375 = 444$  К. Термический КПД идеального газового цикла, реализующий эталонный цикл Эдвардса, составит

$$\eta_t^{ГТЗ-1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{3(450 - 300)}{1500 - 450} = 0,571,$$

где  $Q_1$  – подведенная теплота к продуктам сгорания;  $Q_2$  – отведенная теплота в окружающую среду.

В идеальном газотурбинном цикле с тремя ступенями расширения (рис. 2, б) и тремя ступенями сжатия термический КПД будет ниже и составит

$$\eta_t^{ГТЗ-3} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{1000 - 300 + 2(450 - 300)}{1500 - 450 + 2(1500 - 1000)} = 0,512.$$

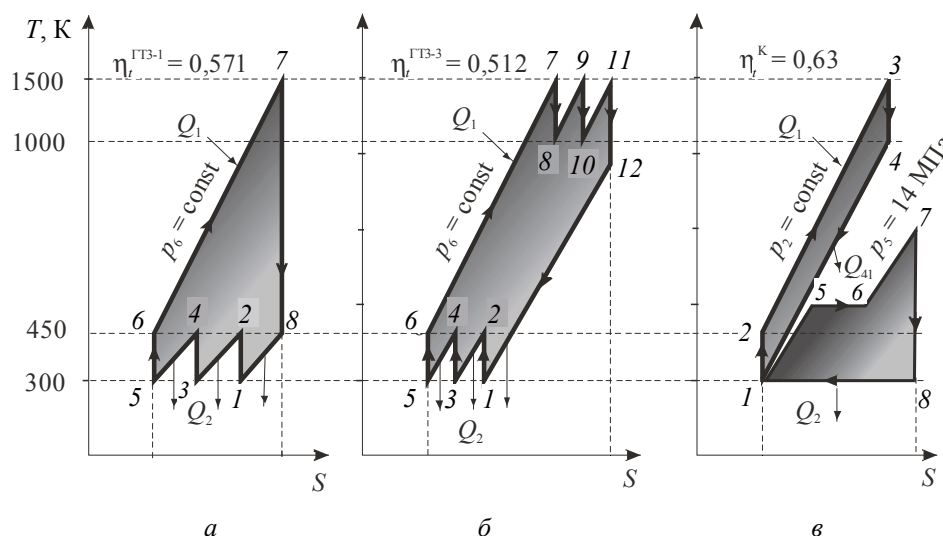


Рис. 2. Идеальные термодинамические циклы газотурбинный (а) и газопаровой (в), реализующие цикл Эдвардса, а также карнотизированный цикл Джоуля (б) и процессы в них:  
 а: 1-2, 3-4, 5-6 – адиабатное сжатие; 8-1, 2-3, 4-5 – изобарное охлаждение; 6-1 – изобарный нагрев;  
 б: 1-2, 3-4, 5-6 – адиабатное сжатие; 6-7, 8-9, 10-11 – изобарный нагрев; 12-1, 2-3, 4-5 – изобарное охлаждение; в: 1-2 – адиабатное сжатие; 2-3 – изобарный нагрев; 3-4 – адиабатное расширение; 4-1 – изобарное охлаждение; 1-5-6-7 – изобарный нагрев, испарение воды, перегрев пара; 7-8 – адиабатное расширение пара

Из сравнения газотурбинных циклов следует, что «карнотизация» идеального цикла Эдвардса снижает его тепловую экономичность на 10% и усложняет тепловую схему.

Рассмотрим второй способ реализации обобщенного цикла Эдвардса посредством комбинированной газопаровой установки, состоящей из цикла Джоуля, действующего на продуктах сгорания топлива, и цикла Ренкина, работающего на тепле уходящих из газовой турбины продуктов сгорания (рис. 2, в).

Выберем минимальную и максимальную температуру цикла Джоуля 300 К и 1500 К, коэффициент повышения давления  $\pi = 4,13$ , коэффициент повышения температуры  $\tau = 1,5$ .

Примем начальные параметры пара в цикле Ренкина: давление – 14 МПа, температура – 560°C. Средняя термодинамическая температура подвода теплоты в цикле Ренкина составит [3]

$$T_{1R} = \Delta h_R / \Delta S_R = (833 - 33) / (1,577 - 0,1) = 542 \text{ К},$$

где  $\Delta h_R$  – изменение энтальпии;  $\Delta S_R$  – изменение энтропии.

Вычислим термический КПД комбинированной установки, считая энтальпию рабочего тела численно равной его температуре. Полезная работа цикла Джоуля в условных единицах

$$l_D = q_D \eta_t^D = (1500 - 450) 0,33 = 350.$$

Полезная работа в цикле Ренкина в условных единицах

$$l_R = q_R \eta_t^R = (1000 - 300) (1 - 300 / 542) = 313.$$

Термический КПД комбинированной установки

$$\eta_t^{EK} = \frac{l_D + l_R}{q_D} = 1 - \frac{350 + 313}{1050} = 0,63,$$

который на 5% ниже термического КПД эталонного цикла Эдвардса.

В таблице приведено сравнение результатов расчета термического КПД известных термодинамических циклов и цикла Эдвардса.

#### Сравнение тепловой экономичности идеальных термодинамических установок при одинаковых температурных условиях

Наименование цикла	$\eta_t$
1. Эталонный цикл Эдвардса	0,657
2. Цикл Джоуля	0,333
3. Цикл Отто	0,333
4. Цикл Карно	0,333
5. Цикл Джоуля карнотизированный	0,512
6. Цикл Ренкина	0,51
7. Газотурбинный цикл Эдвардса	0,571
8. Комбинированный газопаровой цикл Эдвардса	0,63

Реализацией идеального цикла Эдвардса можно считать паросиловую установку двух давлений английской АЭС Колдер Холл [12] с газоохлаждаемым реактором, а также комбинированные газопаровые установки типа Северо-Западной ТЭЦ [13] Санкт-Петербурга. Достоинством энергоустановок, реализующих эта-

лонный цикл Эдвардса, является высокий КПД (равный 0,71 [2]) при умеренных начальных температурах 1100–1200°C.

Приведенные в табл. 1 значения КПД не являются предельными и могут быть увеличены за счет оптимизации параметров цикла или повышения начальных значений.

**Заключение.** Внедрение энергоустановок, реализующих термодинамический цикл Эдвардса, не имеет принципиальных технических трудностей.

По сравнению с циклом Ренкина газотурбинный и газопаровой циклы Эдвардса дают экономию топлива 12–22%.

### Литература

1. Карно С. Размышления о движущей силе огня и машинах, способных развивать эту силу. М.: Стайт, 1924. 74 с.
2. Пиир А. Э. Эталонный цикл Эдвардса для двигателей внутреннего и внешнего сгорания // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ). 2014. № 3. С. 62–66.
3. Литвин А. М. Техническая термодинамика. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 312 с.
4. Вукалович, М. П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. М.; Л.: Энергия, 1965. 400 с.
5. Ястржембский А. С. Термодинамика и история ее развития. М.; Л.: Энергия, 1966. 668 с.
6. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейдлин А. Е. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1968. 472 с.
7. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции. М.; Л.: Энергия, 1967. 400 с.
8. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Энергоиздат. 1982. 360 с.
9. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1983. 372 с.
10. Андрищенко А. И., Лапшов В. Н. Парогазовые установки электростанций. М.: Энергия, 1965. 236 с.
11. Уваров В. В. Газовые турбины и газотурбинные установки. М.: Высш. шк., 1970. 320 с.
12. Калафати Д. Д. Термодинамические циклы атомных электростанций. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 280 с.
13. Трухний А. Д., Макаров А. А., Клименко В. В. Современная теплоэнергетика // Основы энергетики / под. общ. ред. Е. В. Аметистова. М.: МЭИ, 2002. Ч. 1. 368 с.

### References

1. Carno S. *Razmyshleniya o dvizhushchey sile ognya i mashinakh, sposobnykh razvivat' etu silu* [Reflections on the driving force of fire and machines capable of developing this force]. Moscow, Stayt Publ., 1924. 74 p.
2. Piir A. E. Edwards' Reference Cycle for Internal and External Combustion Engines. *Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy i energet. ob'yedineniy SNG* [Energetika. Proceedings of the CIS higher education institutions and power engineering associations], 2014, no. 3. pp. 62–66 (In Russian).
3. Litvin A. M. *Tekhnicheskaya termodinamika* [Technical thermodynamics]. Moscow; Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1963. 312 p.
4. Vukalovich M. P. *Tablitsy termodinamicheskikh svoystv vody i vodyanogo para* [Tables of thermodynamic properties of water and water vapor]. Moscow; Leningrad, Energiya Publ., 1965. 400 p.
5. Yastrzhembskiy A. S. *Termodinamika i istoriya yeye razvitiya* [Thermodynamics and the history of its development]. Moscow; Leningrad, Energiya Publ., 1966. 668 p.
6. Kirillin V. A., Sychev V. V., Sheydlin A. Ye. *Tekhnicheskaya termodinamika* [Technical thermodynamics]. Moscow, Energiya Publ., 1968. 472 p.
7. Ryzhkin V. Ya. *Teplovyye elektricheskiye stantsii* [Thermal power plants]. Moscow; Leningrad, Energiya Publ., 1967. 400 p.
8. Sokolov E. Ya. *Teplofikatsiya i teplovyye seti* [Heat and heat networks]. Moscow, Energoizdat Publ., 1982. 360 p.
9. Orlin A. S., Kruglov M. G. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya porshnevnykh i kombinirovannykh dvigateley* [Internal combustion engines: the theory of piston and combined engines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1983. 372 p.
10. Andryushchenko A. I., Lapshov V. N. *Parogazovyye ustanovki elektrostantsiy* [Steam-gas installations of power plants]. Moscow, Energiya Publ., 1965. 236 p.
11. Uvarov V. V. *Gazovyye turbiny i gazoturbinnyye ustanovki* [Gas Turbines and Gas Turbine Plants]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1970. 320 p.

12. Kalafati D. D. *Termodinamicheskiye tsikly atomnykh elektrostantsiy* [Thermodynamic cycles of nuclear power plants]. Moscow; Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1963. 280 p.

13. Trukhniy A. D., Makarov A. A., Klimenko V. V. Modern heat power engineering. *Osnovy energetiki* [Fundamentals of energy]. Ed. by E. V. Ametistova. Moscow, MEI Publ., 2002. Part 1. 368 p.

#### **Информация об авторах**

**Пиир Адольф Эдвардович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплотехники и теплоэнергетики. Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) имени М. В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: ado@piir.ru

**Сухоцкий Альберт Борисович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alk2905@mail.ru

**Кунтыш Владимир Борисович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: egit@belstu.by

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

**Piir Adol'f Edvardovich** – DSc (Engineering), Professor, the Department of Heat Engineering and Heat Power Engineering. Northern (Arctic) Federal University of M. V. Lomonosov (17, Emb. of Northern Dvina, Arkhangel'sk, 163002, Russian Federation). E-mail: ado@piir.ru

**Sukhotski Al'bert Borisovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alk2905@mail.ru.

**Kuntyshev Vladimir Borisovich** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: egit@belstu.by

*Поступила 11.09.2019*

УДК [712.5(282.3):627.8.059.22]:[519.2:311]

**Г. И. Касперов<sup>1</sup>, В. Е. Левкевич<sup>2</sup>, А. В. Байдук<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет**НАТУРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВОДОЕМОВ  
ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В статье приведены результаты научных исследований, полученные в рамках выполнения научного задания «Исследование масштабов и разработка прогнозных моделей развития деформаций гидротехнических сооружений водоемов технического назначения (охладительных, очистных, технологических) для профилактики и оценки последствий чрезвычайных ситуаций».

Натурные обследования 44 водоемов технического назначения позволили определить основные показатели технического состояния данных объектов, провести оценку ограждающих сооружений, а также определить факторы, способствующие переработке (абразии) береговой линии водоемов.

Предложены категории параметров безопасности, характеризующие качественные показатели состояния гидротехнических сооружений.

По данным натурных обследований и районных отделов по чрезвычайным ситуациям установлены сроки ввода в эксплуатацию (реконструкции) очистных сооружений.

По параметрам, характеризующим качественные показатели состояния гидротехнических сооружений, для пятидесяти объектов пяти областей исследования установлены категории безопасности.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, чрезвычайные ситуации, водоемы технического назначения, безопасность, техническое состояние.

**G. I. Kasperov<sup>1</sup>, V. Ye. Levkevich<sup>2</sup>, A. V. Baiduk<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Belarusian State Technological University<sup>2</sup> Belarusian National Technical University**FIELD SURVEYS OF INDUSTRIAL WATER BODIES TECHNICAL STATE**

The Article presents the results of the conducted research task “Examination of Industrial Water Bodies (Cooling, Sludge, Engineering) Hydraulic Structures Deformation Scale and Developing of Deformation Scenarios Models for Emergency Preventions and Emergency Damage Evaluation”.

After the field surveys of 44 industrial water bodies, main indicators of these bodies technical state have been determined, retaining structures conditions have been estimated, factors of water bodies shores abrasion wear have been identified.

Categories based on safety parameters and quality indicators of water bodies' technical state have been offered.

Timelines for waste water treatment facilities start (modernization) dates were defined based on the results of field surveys and data from local departments of emergency situations.

Safety categories for 50 research objects in 5 regions were worked out considering quality indicators of water bodies' technical state.

**Key words:** hydraulic structures, emergency situations, industrial water bodies, safety, technical state.

**Введение.** Очистные сооружения представляют собой специализированное оборудование, проходя через которое загрязненные стоки (бытовые, промышленные, сельскохозяйственные) очищаются от вредных примесей, способных неблагоприятно повлиять на водоемы-водоприемники, куда их сбрасывают, и на экологическую обстановку в целом. Поэтому аварии на очистных сооружениях являются опасными и могут повлечь за собой различные негативные последствия, ведь продуктом производственного процесса нередко становятся агрессивные

стоки, содержащие примеси тяжелых металлов и других токсичных веществ [1, 2].

Аварии на очистных сооружениях могут происходить по нескольким причинам: отключение электричества, износ оборудования, погода и стихийные бедствия, человеческий фактор и нештатная работа очистных сооружений [2, 3]. Аварии на очистных сооружениях могут быть локального характера, а могут очень быстро перерасти в настоящую экологическую трансграничную катастрофу, так как моря и реки способны распространять ядовитые стоки

на очень большие расстояния, становясь причиной гибели живых организмов и нанося окружающей среде непоправимый вред [2–7]. Именно поэтому в рамках выполнения задания 3.1.04 «Исследование масштабов и разработка прогнозных моделей развития деформаций гидротехнических сооружений водоемов технического назначения (охладительных, очистных, технологических) для профилактики и оценки последствий чрезвычайных ситуаций» ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» активно ведется разработка организационно-технических мероприятий, нацеленных на предотвращение аварий на очистных сооружениях любого типа.

**Основная часть.** В условиях Беларуси, как показали натурные обследования, наиболее распространены очистные сооружения районных и областных центров, которые благодаря сочетанию механических и биологических методов обеспечивают очистку сточных вод. Причем, как правило, пруды биологической очистки, относимые к техническому типу водоемов, обязательно независимы от масштабов и объемов поступающих сточных вод. Площадные водные объекты, к которым относятся пруды биологической очистки, включающие в себя различные гидротехнические сооружения: водосбросы, перепуски, затворные механизмы, дамбы обвалования и другие, имеют различные сроки эксплуатации, износ и являются потенциально опасными [4–12]. В этой связи оценка технического состояния такого типа водных объектов и сооружений на них с выявлением и классификацией локальных разрушений и деформаций является актуальной задачей [5–14].

В 2016–2018 гг. были проведены натурные обследования 44 объектов, расположенных на территории Гродненской, Минской и Могилевской областей (табл. 1).

Таблица 1  
Количество обследованных водоемов технического назначения по административно-территориальной единице (АТЕ)

Область	Кол-во объектов	
	по списку	обследованных
Гродненская	17	16
Минская	22	14
Могилевская	21	14

В процессе выполнения натурных обследований, а также по данным районных отделов по чрезвычайным ситуациям [15] устанавливали сроки ввода в эксплуатацию (реконструкции) очистных сооружений (табл. 2).

Таблица 2  
Сроки эксплуатации очистных сооружений (ОС)

Область	Процент находящихся в эксплуатации ОС, лет			
	10–19	20–29	30–39	40 и более
Гродненская	18	18	41	23
Могилевская	29	14	19	38
Минская	5	30	43	22

Сравнительный анализ находящихся в эксплуатации очистных сооружений по АТЕ (рис. 1) показывает, что 57–65% из них работают 30 и более лет.



Рис. 1. Распределение ОС по срокам эксплуатации

Для определения качественных показателей состояния гидротехнических сооружений (ГТС), водоемов технического назначения (очистных) по подходам, изложенным в [14], были предложены категории безопасности ГТС:

– нормальная категория безопасности (I). При данной категории ГТС соответствуют проекту, действующим нормам и правилам, показатели состояния ГТС не превышают предельно допустимых для работоспособного состояния, эксплуатация осуществляется без нарушений действующих законодательных актов, норм и правил, первоочередные мероприятия по обеспечению надежности и безопасности ГТС выполняются в установленные сроки;

– неудовлетворительная категория безопасности (II). Снижается механическая или фильтрационная прочность элементов сооружений, превышаются предельно допустимые значения показателей состояния ГТС для работоспособного состояния, а также другие отклонения от проектного состояния, способные привести к развитию аварии;

– опасная категория безопасности (III). Снижаются прочность и устойчивость ГТС и их оснований, показатели состояния ГТС превышают предельно допустимые значения, характеризующие переход от частично неработоспособного к неработоспособному состоянию сооружений и оснований.



При оценке технического состояния водоемов технического назначения категории безопасности устанавливали на основе выявления наличия и комплексного анализа следующих нарушений и деформаций [5–8]:

- просадок, смещений, оползней, трещин в теле откосов и гребне подпорных земляных сооружений – ограждающих дамб (рис. 2);
- разрушений креплений, просадок, смещений (сползаний), раскрытий швов и деформаций плит креплений откосов земляных дамб (рис. 3);
- повреждений облицовок (креплений) водосборных и дренажных каналов, а также их заилиения, зарастаний и перемерзаний (рис. 4);
- нарушении целостности, проточности, водовыпусков из закрытых дренажных устройств (рис. 5);
- появлений на низовом откосе грунтовых подпорных сооружений (дамб), выходов фильтрационных вод с развитием суффозионных процессов, ведущих к расжижению и выносу грунта (рис. 6);
- проявлений контактной фильтрации в местах примыкания тела грунтовой плотины к бетонным сооружениям с выходом воды и образованием просадочных воронок (рис. 7);
- солифлюкций (оползаний) – нарушений устойчивости откосов грунтовых сооружений и береговых примыканий (рис. 8);
- выходов воды из основания грунтовых сооружений (рис. 9).

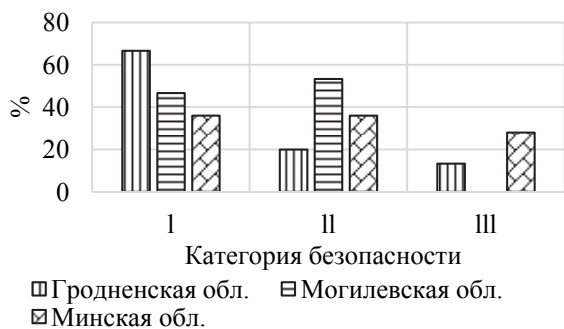


Рис. 2. Вероятность образования просадок, подвижек, оползней, трещин в теле откосов дамб



Рис. 3. Вероятность разрушения креплений, просадки, оползания, раскрытия швов и деформации плит креплений откосов

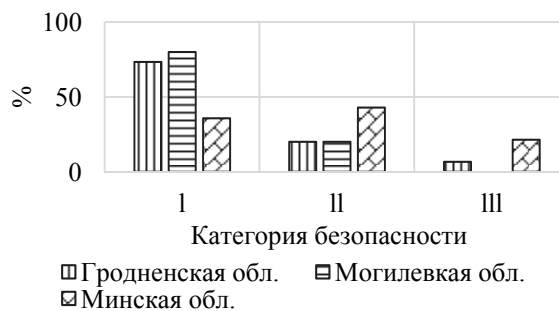


Рис. 4. Вероятность повреждения облицовок, заилиения, зарастания, перемерзания откосов водосборных и дренажных каналов

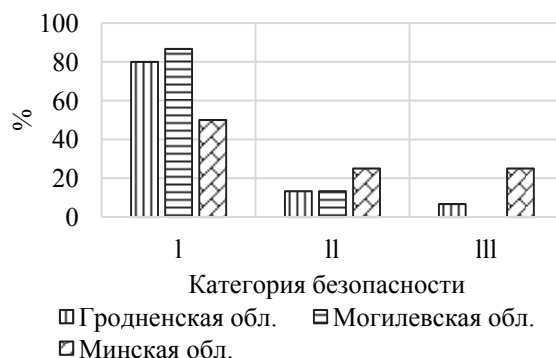


Рис. 5. Вероятность нарушения целостности, проточности, перемерзания водовыпусков из закрытых дренажных устройств

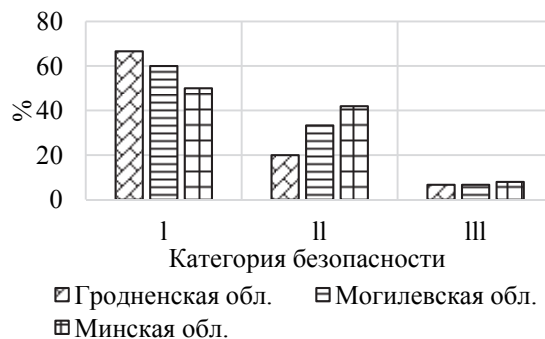


Рис. 6. Вероятность появления на низовом откосе дамб выходов фильтрационных вод или мокрых пятен

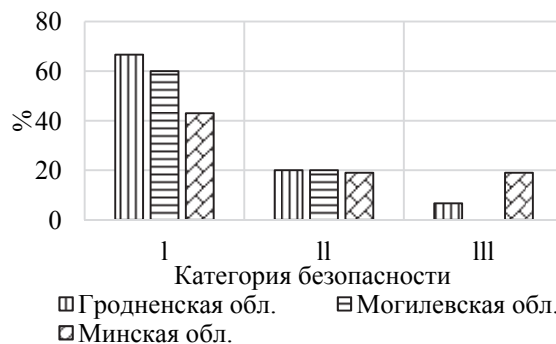


Рис. 7. Вероятность появления на низовом откосе грунтовых подпорных и ограждающих сооружений выходов фильтрационных вод

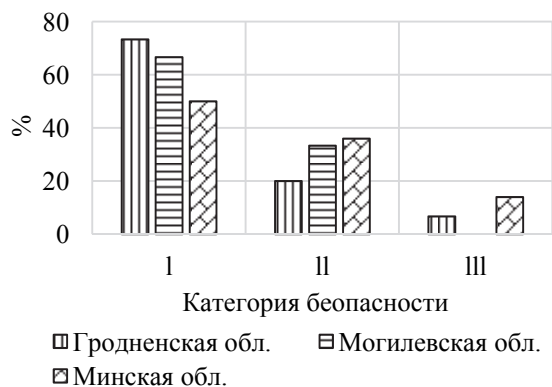


Рис. 8. Вероятность проявления солифлюкции (оползания) откосов дамб и береговых примыканий



Рис. 9. Вероятность появления выходов воды из основания грунтовых сооружений

В табл. 3 приведены результаты натурных обследований по качественной оценке технического состояния водоемов технического назначения (очистных), расположенных на территории Витебской, Гомельской, Гродненской, Могилевской и Минской областей.

Таблица 3

**Качественная оценка технического состояния водоемов технического назначения (очистных) для Витебской, Гомельской, Гродненской, Могилевской и Минской областей**

Показатель	% объектов по категориям безопасности		
	I	II	III
Просадки, подвижки, оползни, трещины откосов и гребня грунтовых дамб	48	36	16
Разрушение креплений, просадка, оползание, раскрытие швов и деформации плит креплений откосов подпорных сооружений	42	46	12
Повреждение облицовок, заиливание, зарастание, замерзание водосборных и дренажных каналов	60	28	12

Окончание табл. 3

Показатель	% объектов по категориям безопасности		
	I	II	III
Целостность, проточность, замерзание водовыпусков из закрытых дренажных устройств *	73	18	9
Появление выходов воды в примыкании грунтовых и бетонных сооружений *	63	29	8
Оползание откосов грунтовых дамб и береговых примыканий	66	28	6

\* Для отдельных объектов исследований категории безопасности не определялись ввиду отсутствия показателей

Как видно из рис. 2–9 и табл. 3, для обследованных объектов характерны все нарушения и деформации. Вероятность их появления колеблется от 6 до 9% для III категории безопасности, от 18 до 36% и от 20 до 69% соответственно для II и I категорий безопасности. Преобладающим нарушением являются просадки, подвижки, оползни и трещины в теле откосов дамб (до 36%), оползание откосов дамб и береговых примыканий (до 67%).

**Заключение.** Результаты проведенных натурных обследований по качественной оценке технического состояния пятидесяти водоемов технического назначения (очистных) показали, что:

– доминирующую роль в развитии деформаций откосов водоемов технического назначения (очистных) играют режим колебания уровней и развитие фильтрационных явлений, проявляющихся в виде суффозионных выносов в нижнем бьефе земляных сооружений, контактной фильтрации вдоль бетонных конструкций, а также просадок гребня дамб и локального развития абразивных процессов;

– ряд объектов очистных сооружений находится в неудовлетворительном состоянии и требуют ремонта или их реконструкции. Установлено, что 61,8% соответствуют нормальной категории безопасности, 28,7% – неудовлетворительной, 9,5% – опасной;

– на вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций на очистных сооружениях важную роль оказывает человеческий фактор – качество изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации объекта повышенной опасности, какowymi являются все без исключения ГТС;

– наибольшее количество аварий происходит на очистных сооружениях предприятий, срок эксплуатации которых превышает 35–40 лет и более.

### Литература

1. Об обращении с отходами: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-З. Минск, 2007. 42 с.
2. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 143-З. Минск, 2014. 65 с.
3. Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь: утв. постановлением М-ва экономики Респ. Беларусь, 30 сент. 2011 г., № 161. Минск, 2011. 84 с.
4. Прохоров Н. Н. Методы оценки технического состояния ограждающих дамб шламохранилищ калийного производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2009. 20 с.
5. Левкевич В. Е., Левкевич В. Е. Динамика формирования берегов малых равнинных водохранилищ. Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 149 с.
6. Левкевич В. Е. Гидро-морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси. Минск: Право и экономика, 2018. 143 с.
7. Левкевич В. Е. Устойчивость берегозащитных и берегоукрепительных сооружений водохранилищ Беларуси. Минск: Право и экономика, 2019. 160 с.
8. Левкевич В. Е., Новиков А. А., Бузук А. В. Методические рекомендации по оценке устойчивости креплений верховых откосов дамб, плотин и берегов водохранилищ Беларуси. Минск, 2015. 54 с.
9. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования = Гідратэхнічныя збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-3.04-169-2009. Введ. 30.12.09. Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. 45 с.
10. Аравин В. И., Нумеров С. Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. М.: Стройиздат, 1948. 225 с.
11. Чугаев Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). 4-е изд. Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. 672 с.
12. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблема безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
13. Ляпичев Ю. П. Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений. М.: РУДН, 2008. 222 с.
14. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений: РД 153-34.2-21.342-00. М.: ОАО НИИЭС 2001. 24 с.
15. Разработать научно-методические основы ведения мониторинга состояния сооружений на водоемах технического назначения для оценки последствий и ущербов от чрезвычайных ситуаций: отчет о НИР (окончат.) / БГТУ; рук. темы Г. И. Касперов. Минск, 2018. 254 с. № ГР 20160782.

### References

1. *Ob obrashchenii s otkhodami: Zakon Resp. Belarus', 20 iyulya 2007 g., no. 271-Z* [Waste Management Law of the Republic of Belarus, 20<sup>th</sup> of July, 2007, no. 271-Z]. Minsk, 2007. 42 p.
2. *Vodnyy kodeks Respubliki Belarus', 30 aprelya 2014 g., no. 143-Z* [Water Code of the Republic of Belarus, 30<sup>th</sup> April 2014, no. 143-Z]. Minsk, 2014. 65 p.
3. *Ob ustanovlenii normativnykh srokov sluzhby osnovnykh sredstv i priznanii utrativshimi silu nekotorykh postanovleniy Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus': utv. postanovleniyem Ministerstva ekonomiki Resp. Belarus', 30 sent. 2011 g., no. 161* [Determination of Fixed Assets Useful life and several revoked decrees of the Ministry of the Economy of the Republic of Belarus. Approved the Ministry of the Economy of the Republic of Belarus, 30<sup>th</sup> of September, 2011, no. 161]. Minsk, 2011. 84 p.
4. Prokhorov N. N. *Metodu otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya ograzhdayushchikh damb shlamokhranilishch kaliynogo proisvodstva. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Methods for Examination of Potassium Production Sludge Depositories Enclosures Technical State. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.] Minsk, 2009. 20 p.
5. Levkevich V. Ye., Levkevich V. Ye. *Dinamika formirovaniya beregov malykh ravninnykh vodokhranilishch* [Dynamics of Small Plain Water Depositories Banks Formation]. Riga, LAP LAMBERT Academic Publishing Publ., 2018. 149 p.
6. Levkevich V. Ye. *Gidro-morfodinamika pribrezhnoy zony vodokhranilishch GES Belarusi* [Hydro-morphodynamics of Water Bodies Bank Areas in Belarus Hydroelectric Stations]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2018. 143 p.
7. Levkevich V. Ye. *Ustoychivost' beregozashchitnykh i beregoukrepitel'nykh sooruzheniy vodokhranilishch Belarusi* [Stability of Water Bodies Banks Protecting and Bank Stabilizing Constructions in Belarus], Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2019. 160 p.

8. Levkevich V. Ye., Novikov A. A., Buzuk A.V. *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke ustoychivosti kreplesnykh verkhovnykh otkosov damb, plotin i beregov vodohranilishch Belarusi* [Methodological Recommendations for Evaluation of Levees, Dams and Reservoirs Upstream Sides Stability]. Minsk, 2015. 54 p.

9. ТКР 45-3.04-169-2009. Hydraulic Structures. Construction Design Code. Minsk, 2010. 45 p. (In Russian).

10. Aravin V. I., Numerov S. N. *Fil'tratsionnyye raschety gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Leakoff Estimations for Hydraulic Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1948. 225 p.

11. Chugayev R. R. *Gidravlika (tehnicheskaya mekhanika zhidkosti)* [Hydraulics (Engineering Mechanics of Fluids)]. Leningrad, Energoizdat Publ., 1982. 672 p.

12. Malik L. K. *Factory riska povrezhdeniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Problema bezopasnosti* [Risk Factors of Hydraulic Structures Damaging. Safety Issues]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 354 p.

13. Lyapichev Yu. P. *Gidrologicheskaya i tehnicheskaya bezopasnost' gidrosooruzheniy* [Hydrological and Technical Safety of Hydraulic Structures]. Moscow, RUDN Publ., 2008. 222 p.

14. Methodology for Developing Hydraulic Structures Safety Criteria: RD 153-34.2-21.342-00. Moscow, 2001. 24 p. (In Russian).

15. *Razrabotat' nauchno-metodicheskiye osnovy vedeniya monitoringa sostoyaniya sooruzheniy na vodoyemakh tekhnicheskogo naznacheniya dlya otsenki posledstviy i ushcherbov ot chrezvychaynykh situatsiy: otchet o NIR (okonchat.). Ruk. temy G. I. Kasperov* [To Develop Research and Methodological Principles of Industrial Water Bodies Structures Conditions Monitoring for Evaluation of Emergency Impacts and Emergency Damage: Research Project Report (Final)]. Project coordinator G. I. Kasperov. Minsk, 2018. 254 p., no. GR 20160782.

#### Информация об авторах

**Касперов Георгий Иванович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: borki1959@mail.ru

**Левкевич Виктор Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Белорусского национального технического университета (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, Республика Беларусь). E-mail: eco2014@tut.by

**Байдук Анастасия Владимировна** – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nastyabaiduk@gmail.com

#### Information about the authors

**Kasperov Georgiy Ivanovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: borki1959@mail.ru

**Levkevich Viktor Yevgen'yevich** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Water Supply and Drainage. Belarusian National Technical University (65-1, pr. Nezavisimosti, 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eco2014@tut.by

**Baiduk Anastasiya Vladimirovna** – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nastyabaiduk@gmail.com

Поступила 30.09.2019

УДК 621.785.531

**М. Н. Пищов, С. Е. Бельский, Ф. Ф. Царук**

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ БОРИРОВАНИЯ И БОРОСИЛИЦИРОВАНИЯ  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ  
ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

В статье установлено, что при упрочнении деталей лесных мобильных машин различными методами химико-термической обработки могут изменяться шероховатость поверхности, а также точность их размеров. В связи с этим необходимо применение дополнительной финишной обработки упрочненных поверхностей. Также изучено влияние температурно-временных параметров процесса упрочнения на микротвердость упрочненного слоя.

**Ключевые слова:** детали трансмиссий лесных машин, поверхностное упрочнение, шероховатость поверхности, микротвердость.

**M. N. Pishchov, S. Ye. Belski, F. F. Tsaruk**

Belarusian State Technological University

**INFLUENCE OF BORING AND BOROSILICATION PROCESSES  
ON THE CHARACTERISTICS OF A SURFACE STRENGTHENED LAYER  
OF TRANSMISSIONS OF FOREST MOBILE MACHINES**

The article established that when hardening the details of forest mobile machines using various methods of chemo-thermal treatment, the surface roughness and the accuracy of their sizes can change. In this regard, it is necessary to use additional finishing processing of hardened surfaces. The effect of temperature-time parameters of the hardening process on the microhardness of the hardened layer was also studied.

**Key words:** transmission details of forest machines, surface hardening, surface roughness, microhardness.

**Введение.** В настоящее время в условиях эксплуатации ряд сложнагруженных деталей лесных машин характеризуется значительным трением, интенсивным износом их рабочих поверхностей, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона [1–6]. В связи с этим возникает необходимость в их дополнительном упрочнении методами, позволяющими получать более высокую поверхностную твердость. Для повышения износостойкости деталей машин, а также их восстановления при ремонте широко применяют различные виды поверхностного упрочнения: цементацию, азотирование, цианирование и др. Однако в условиях максимальных нагрузок, возникающих при работе ряда лесных машин, например трелевочных тракторов, твердость зубчатых колес трансмиссии является недостаточной.

**Основная часть.** Технологический процесс упрочнения деталей борированием и боросилицированием по сравнению с другими способами диффузионного насыщения (например, цементацией) проводится при относительно меньшем времени насыщения. Это преимущество наряду с практически одинаковой температурой насыщения (920–950°C) и обусловило использование данного метода упрочнения, который может осуществляться в ремонтных мастерских лесо-

промышленных предприятий для деталей трансмиссий трелевочных тракторов.

Шероховатость поверхности определяли по параметру  $Ra$  на профилографе-профилометре. Исследование проводилось на образцах из сталей 45, 40X и 25ХГТ, обработанных с различной чистотой поверхности, а затем подвергнутых упрочнению борированием и боросилицированием при температуре насыщения 950°C и времени выдержки 3 ч. Использование составов данных смесей и особенности технологии данного процесса упрочнения рассмотрены в статьях [7–10]. Результаты исследований показывают, что состояние поверхности после диффузионного насыщения как при борировании, так и боросилицировании ухудшается на всех образцах. Процент возрастания  $Ra$  примерно одинаковый при всех исходных значениях шероховатости. При борировании наблюдается большее возрастание параметра  $Ra$  (на 10–20%), чем при боросилицировании. Это в первую очередь связано с высокой поверхностной твердостью при борировании и образовании крупных игл фазы Fe<sub>3</sub>C, что подтверждается структурным анализом упрочненного слоя. Аналогично были получены результаты изменения шероховатости поверхности образцов после борирования и боросилицирования при

разных температурно-временных параметрах процессов ХТО.

Как видно из приведенных данных (рис. 1), с повышением времени обработки более 3,0–3,5 ч величина  $Ra$  начинает быстро возрастать. Следует отметить, что уменьшение исходной шероховатости эффективно влияет на качество поверхности даже при значительной продолжительности процесса. Улучшение чистоты упрочненной поверхности является одной из причин сокращения периода приработки, установленного при испытаниях на износ.

Важным фактором при назначении ХТО зубчатых колес трансмиссий трелевочных тракторов является стабильность их линейных размеров после проведения обработки. Многие процессы диффузионного насыщения наряду с деформациями изделий вызывают изменения их линейных размеров, что связано с активной адсорбцией атомов легирующих элементов на поверхности и образованием в упрочненном слое твердых растворов внедрения. Информация об изменении размеров детали в зависимости от режимов обработки необходима для грамотного назначения соответствующих допусков на предшествующую механическую обработку. При этом изменения линейных размеров после проведения ХТО не должны выходить за пределы допуска на погрешность профиля зуба конического колеса.

Исследования проведены на цилиндрических образцах из стали 25ХГТ диаметром 20 мм и длиной 10 мм, подвергнутых борированию и боросилицированию при температуре 950°C и времени обработки от 0,5 до 5,0 ч. Изменения диаметров образцов фиксировались при помощи вертикального оптиметра типа ИКВ с ценой деления 0,001 мм. Отмечен (рис. 2) прирост размеров ( $\Delta l$ ), пропорциональный увеличению времени выдержки и толщин  $l$  поверхностного упрочненного слоя.

Увеличение размеров составляет приблизительно 18–22% от толщины как борированного, так и боросилицированного слоев. При общей толщине упрочненного боросилицированием слоя деталей трансмиссий трелевочных тракторов в 200–250 мкм увеличение размеров составит около 36–55 мкм, что практически не превышает допуск на погрешность зубчатых колес.

Близкий к линейному характер зависимости прироста размеров от времени обработки облегчает установление соответствующих корреляционных зависимостей ( $\Delta l$  от  $t$ ) и, тем самым, назначение оптимальных допусков на механическую обработку. В ряде случаев, наоборот, погрешности механической обработки могут быть исправлены установлением соответствующего времени поверхностного насыщения.

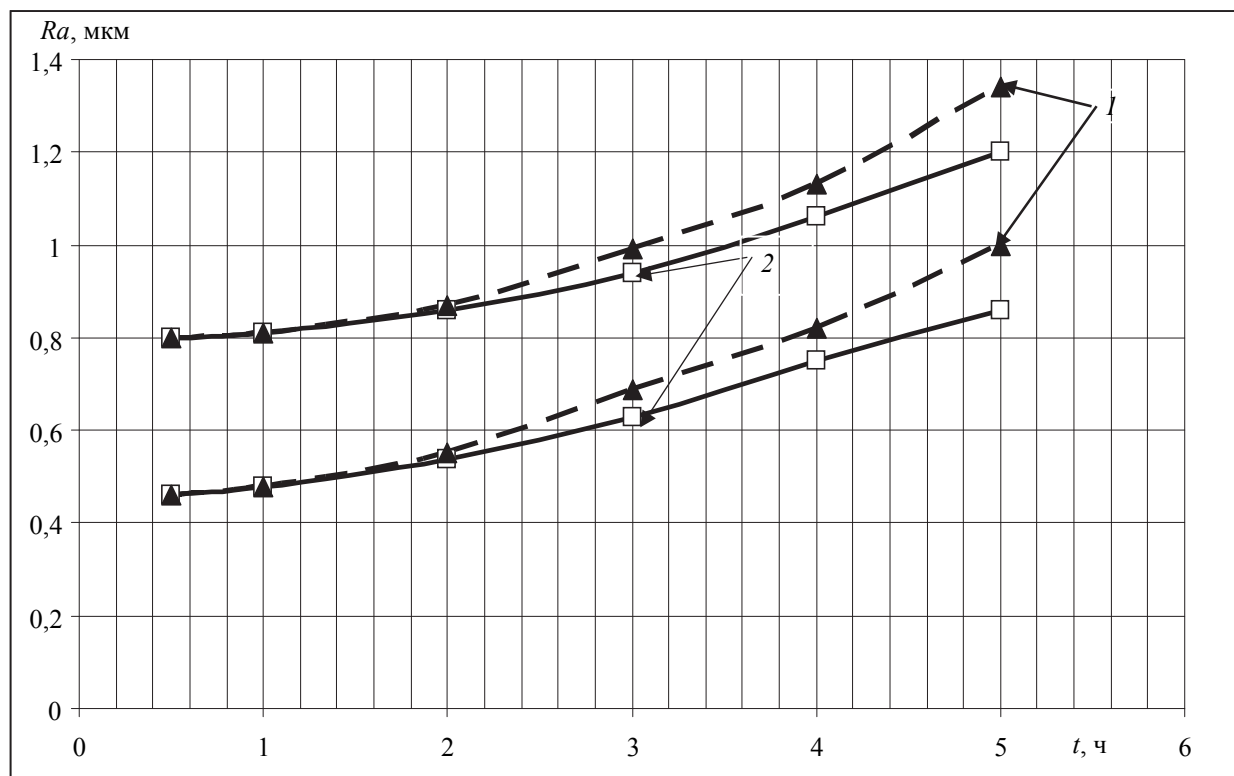


Рис. 1. Влияние времени насыщения на шероховатость поверхности при различной величине исходной  $Ra$  при борировании и боросилицировании: 1 – борирование; 2 – боросилицирование



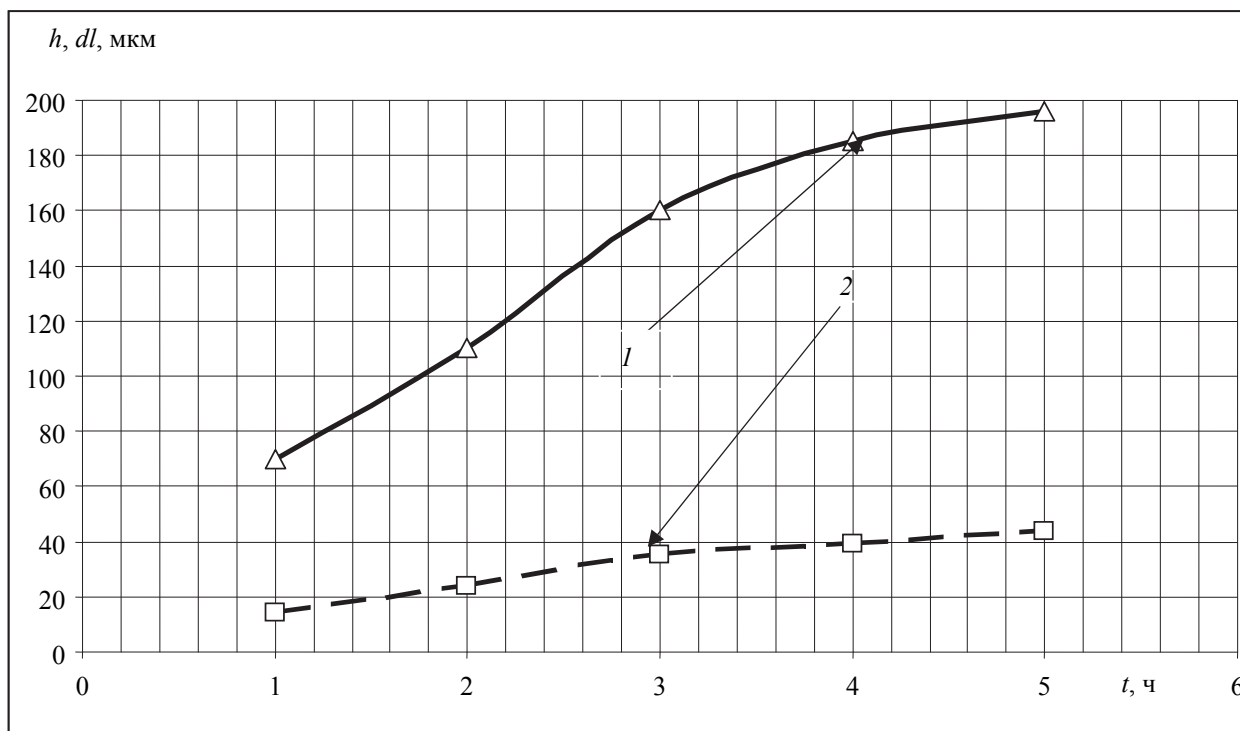


Рис. 2. Влияние времени насыщения на толщину упрочненного боросилицированного слоя ( $h$ ) и прирост размеров ( $dl$ ) образцов из стали 25ХГТ:  
1 – толщина слоя; 2 – прирост размеров

Как показали проведенные исследования, прирост размеров при боросилицировании не превышает допуск на погрешность профиля зуба конических передач, что не предполагает использования дополнительной механической обработки, связанной с уменьшением размеров. Однако промышленное внедрение операции поверхностного упрочнения методом боросилицирования в качестве финишной требует оценки влияния технологических параметров процесса ХТО на состояние поверхности и размерную стабильность изделий после обработки. Так, для уменьшения шероховатости упрочненных конических зубчатых колес деталей трансмиссии трелевочного трактора ТТР-401М после проведения боросилицирования в качестве финишной обработки предусматривается хонингование [10, 11].

На основании изучения изменения шероховатости и линейных размеров деталей после обработки было установлено, что после борирования и боросилицирования увеличение размеров находится в пределах 18–22% от толщины упрочненного слоя (200–250 мкм), что составляет около 36–55 мкм и не превышает допуск на погрешность крупномодульных зубчатых колес. Незначительное увеличение значений шероховатости (в среднем с  $Ra = 1,6$  мкм перед обработкой до  $Ra = 1,72$ – $1,94$  мкм после проведения ХТО) наблюдается как при борировании, так и боросилицировании, в связи с чем

в качестве финишной обработки упрочненных зубчатых колес целесообразно проводить хонингование.

Упрочненный слой наряду с обеспечением высокой поверхностной твердости должен обладать и низкой хрупкостью. Установлено, что данные параметры взаимосвязаны и зависят в первую очередь от химического и фазового состава слоя [12, 13]. Как было отмечено [5, 7], работа трелевочного трактора сопровождается высокими динамическими нагрузками на детали трансмиссии, которые при неправильном назначении ХТО могут привести к скалыванию поверхностного упрочненного слоя с контактных поверхностей зубьев. В связи с этим важно при проведении исследований изучение как микротвердости упрочненного слоя, так и его хрупкости.

Требуемая при эксплуатации трелевочного трактора микротвердость поверхностного слоя зубьев конических передач определялась на основании предотвращения образования пластических деформаций контактных поверхностей зубьев. С возрастанием твердости, как правило, достигается повышение допустимых контактных и изгибных напряжений. Необходимая поверхностная микротвердость зубьев конической передачи трелевочного трактора рассчитывалась согласно [13] и составила для заданных условий эксплуатации 11 000–12 000 МПа при общей толщине 200–250 мкм.

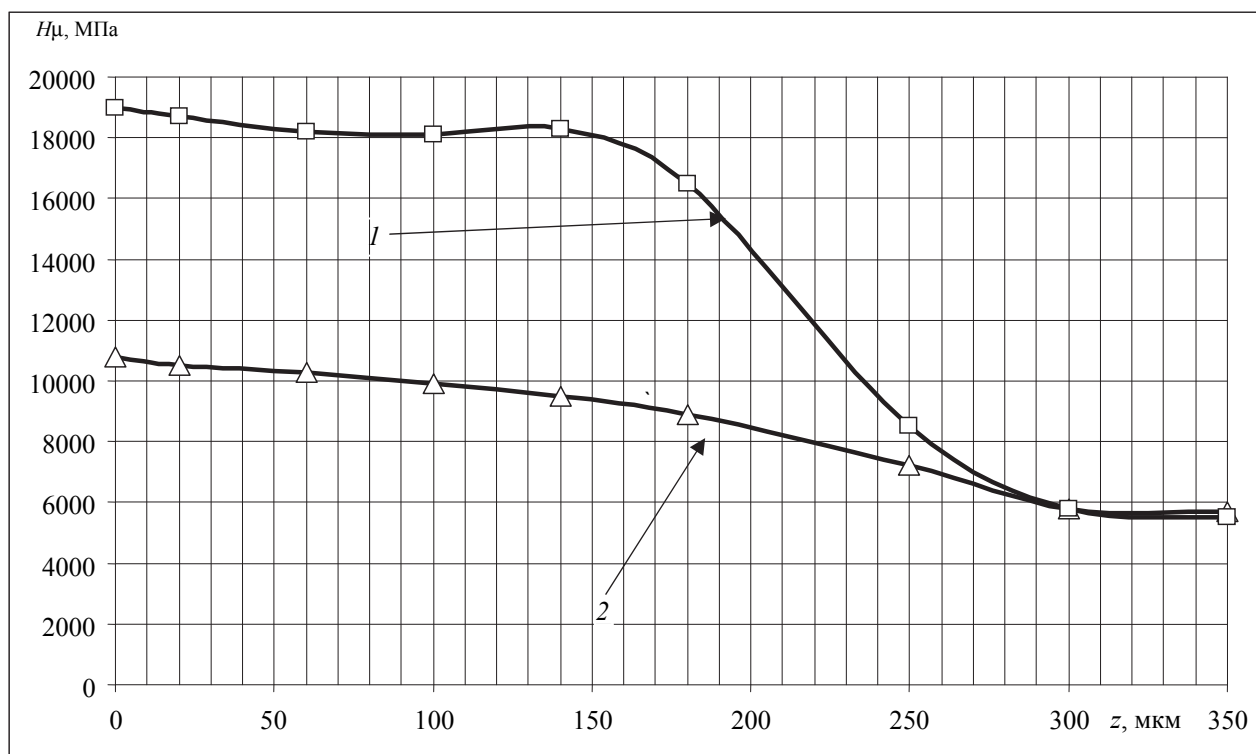


Рис. 3. Распределение микротвердости по толщине упрочненного борированием и боросилицированием слоя с различной толщиной образцов стали 25ХГТ: 1 – борирование; 2 – боросилицирование (толщина слоя 200–220 мкм)

Исследование распределения микротвердости по глубине упрочненных слоев при борировании и боросилицировании проводилось на микротвердомере ПМТ-3М. На рис. 3 приведено распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя образцов стали 25ХГТ при борировании и боросилицировании. При различных температурно-временных параметрах процесса полученные результаты показывают, что понижение твердости идет постепенно на всех исследуемых образцах сталей. Установлено, что как при борировании, так и при боросилицировании максимальная твердость достигается на поверхности стали с постепенным уменьшением по глубине упрочненного слоя.

Распределение микротвердости по глубине упрочненного борированием и боросилицированием слоя связано с его фазовым составом. Было установлено, что при борировании образуется достаточно резкий переход от упрочненного слоя к основе металла, что способствует созданию на границе дополнительных напряжений. Связано это с образованием в упрочненном слое фазы FeB. При упрочнении боросилицированием наблюдается более плавный переход к основе металла, отсутствуют резкие изменения микротвердости по глубине слоя, что свидетельствует об образовании в слое менее твердых фаз Fe<sub>2</sub>B и FeSi. Это делает воз-

можным применение данного способа упрочнения для зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов.

Можно выделить три зоны с соответствующей микротвердостью при боросилицировании: зона, насыщенная бором и кремнием (11200–11800 МПа), переходная зона (7800–9000 МПа) и сердцевина (5000–5600 МПа).

Приведенная микротвердость характеризует образование и расположение по глубине упрочненного слоя различных по своей структуре и химическому составу фаз.

Аналогичный характер изменения микротвердости можно отметить и для различных составов насыщающей смеси. Приведенные значения микротвердости фаз с разными составами насыщения при комплексном борировании хорошо согласуются с данными других авторов.

**Выводы.** На основании полученных в ходе исследований изменений шероховатости и линейных размеров деталей после обработки установлено, что после борирования и боросилицирования увеличение размеров находится в пределах 18–22% от толщины упрочненного слоя (200–250 мкм), что составляет около 36–55 мкм и не превышает допуск на погрешность крупномодульных зубчатых колес. Также в ходе полученных результатов распределения микротвердости по толщине упрочненного слоя

было установлено, что при боросилицировании повышение допустимых контактных напряжений для предотвращения образования пластических деформаций обеспечивается не только на поверхности, но и на глубине 200–250 мкм,

что полностью соответствует требованиям теоретических расчетов. Повышение твердости на глубине 200–250 мкм также обеспечивает предотвращение глубинного контактного выкрашивания упрочненного слоя.

### Литература

1. Аникин Н. И. Снижение динамической нагруженности и повышение долговечности трансмиссий лесопромышленных колесных тракторов на основе анализа динамических процессов в характерных условиях эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 20 с.
2. Островерхов Н. Л., Русецкий И. К., Бойко Л. И. Динамическая нагруженность трансмиссий колесных машин. Минск: Наука и техника, 1977. 191 с.
3. Симанович В. А., Исаченков В. С. Разработка приведенной расчетной модели «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев» // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2005. Вып. XIII. С. 138–142.
4. Жорин А. В. Обоснование параметров трелевочной машины на базе сельскохозяйственного трактора кл. 1,4: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск: БГТУ, 1997. 18 с.
5. Симанович В. А., Пишов М. Н., Смяян А. И. Эксплуатационная оценка работы колесных лесных агрегатных машин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 92–95.
6. Пишов М. Н., Симанович В. А., Бельский С. Е. Исследование условий эксплуатации и динамической нагруженности деталей трансмиссии трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 113–115.
7. Ворошнин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. Минск: Беларусь, 1981. 205 с.
8. Ворошнин Л. Г., Ляхович Л. С., Фунштейн Я. Н. Борирование порошкообразными смесями // МиТОМ. 1966. № 12. С. 67–69.
9. Ляхович Л. С., Ворошнин Л. Г., Панич Г. Г. Многокомпонентные диффузионные покрытия. Минск: Наука и техника, 1974. 289 с.
10. Ситкевич М. В., Пишов М. Н., Бельский С. Е. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин // Литье и металлургия. 2008. С. 140–146.
11. Ситкевич М. В., Пишов М. Н., Бельский С. Е. Структура и свойства поверхностных слоев зубчатых передач, упрочненных комплексным борированием // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10-й Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–18 апреля 2008 г. СПб., 2008. Ч. 2. С. 346–353.
12. Бельский С. Е., Сурус А. И., Пишов М. Н. Определение оптимальных параметров процесса борирования деталей лесных машин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 267–270.
13. Макаревич С. С., Пишов М. Н., Бельский С. Е. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 327–330.

### References

1. Anikin N. I. *Snizheniye dinamicheskoy nagruzhennosti i povysheniye dolgovechnosti transmissiy lesopromyshlennykh kolesnykh traktorov na osnove analiza dinamicheskikh protsessov v kharakternykh usloviyakh ekspluatatsii. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Decrease in dynamic loading and increase in durability of trans-missions of forestry wheeled tractors based on the analysis of dynamic processes in characteristic operating conditions. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Moscow, 1988. 20 p.
2. Ostroverkhov N. L., Rusetskiy I. K., Boyko L. I. *Dinamicheskaya nagruzhennost' transmissiy kolesnykh mashin* [Dynamic loading of transmissions of wheeled vehicles]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1977, 191 p.
3. Simanovich V. A., Isachenkov V. S. Development of the design model “wheeled tractor – trailer module – pack of trees”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2005, issue XIII, pp. 138–142 (In Russian).
4. Zhorin A. V. *Obosnovaniye parametrov trelevochnoy mashiny na baze sel'skokhozyaystvennogo traktora kl. 1,4. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Justification of the parameters of a skidder based on an agricultural tractor class. 1.4. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Minsk, 1997. 18 p.

5. Simanovich V. A., Pishchov M. N., Smeyan A. I. Operational evaluation of the work of wheeled forest modular machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue X, pp. 92–95 (In Russian).
6. Pishchov M. N., Simanovich V. A., Belski S. Ye. Study of operating conditions and dynamic loading of transmission parts of skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue X, pp. 113–115 (In Russian).
7. Voroshnin L. G. *Borirovaniye promyshlennyykh staley i chugunov* [Boroning of industrial steels and cast irons]. Minsk, Belarus' Publ., 1981. 205 p.
8. Voroshnin L. G., Lyakhovich L. S., Funshteyn Ya. N. Boronirovanie powdered mixtures. *MiTOM* [MiTOM], 1966, no. 12, pp. 67–69 (In Russian).
9. Lyakhovich L. S., Voroshnin L. G., Panich G. G. *Mnogokomponentnyye diffuzionnye pokrytiya* [Multicomponent diffusion coatings]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1974. 289 p.
10. Sitkevich M. V., Pishchov M. N., Belski S. Ye. The effect of complex boride hardening on the structure and properties of the surface layers of steels for the manufacture of gear parts of skidding forest machines. *Lit'ye i metallurgiya* [Casting and metallurgy], 2008, pp. 140–146 (In Russian).
11. Sitkevich M. V., Pishchov M. N., Belski S. Ye. The structure and properties of the surface layers of gears hardened by complex boronation. *Materialy 10-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoy osnastki"* [Materials of the 10th International scientific and practical conference "Technologies for repair, restoration and hardening of machine parts, mechanisms, equipment, tools and technological equipment"]. St. Petersburg, 2008, part 2, pp. 346–353 (In Russian).
12. Belski S. Ye., Surus A. I., Pishchov M. N. Determination of the optimal parameters of the process of boring parts of forest machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 267–270 (In Russian).
13. Makarevich S. S., Pishchov M. N., Belski S. Ye. The model of the stress state of the teeth of the parts of the transmissions of skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue X, pp. 327–330 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Пищов Михаил Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Pishchou@belstu.by

**Бельский Сергей Евграфович** – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dmipstu@belstu.by

**Царук Федор Федорович** – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Tsaruk@belstu.by

#### Information about the authors

**Pishchov Mikhail Nikolayevich** – PhD (Engineering), assistant professor, the Department of Material Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Pishchou@belstu.by

**Belski Sergey Yevgrafovich** – 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: dmipstu@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

Поступила 14.10.2019

УДК 674.05:62-51

**А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко, П. А. Бараненко**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОМ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ УГЛОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

В данной статье предлагается вариант системы дистанционного управления фрезерным инструментом с изменяемыми угловыми параметрами. Система управления имеет возможность производить контроль и изменение углов резания лезвийного инструмента непосредственно во время его работы. Реализация такой системы дистанционного управления инструментом с изменяемыми угловыми параметрами обеспечит: уменьшение ассортимента лезвийного инструмента на производстве при работе с различными древесными материалами, имеющими различные физико-механические характеристики и требования к качеству обработки; снижение потребления электроэнергии на единицу площади обработанной поверхности; увеличение производительности оборудования; уменьшение времени на наладку машины.

**Ключевые слова:** инструмент, углы резания, дистанционное управление, система, сервопривод.

**A. A. Grishkevich, A. F. Anikayenko, P. A. Baranenko**  
Belarusian State Technological University

### **PROJECT OF REMOTE TOOL CONTROL SYSTEM WITH VARIABLE ANGULAR PARAMETERS**

This article proposes a variant of the remote control system of milling tools with variable angular parameters. The control system has the ability to control and change the cutting angles of the blade tool directly during its operation. Implementation of such system of remote control of the tool with changeable angular parameters will provide: reduction of the range of the blade tool at production at work with the various wood materials having various physical and mechanical characteristics and requirements to quality of processing; reduction of power consumption per unit area of the treated surface; increase of equipment productivity; reduction of time for adjustment of the machine.

**Key words:** tool, cutting angles, remote control, system, servo.

**Введение.** Устойчивое экономическое развитие современных предприятий требует постоянного внимания его экономической эффективности. Проводятся модернизация или замена старого оборудования, используемых технологий, рассчитываются энергетические затраты и вводятся мероприятия по их уменьшению.

В настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях применяются следующие основные виды механической лезвийной обработки древесины и древесных материалов, такие как пиление, фрезерование, сверление, шлифование, строгание, лущение. Для получения определенного вида конечной продукции могут быть использованы различные вышеперечисленные виды обработки. Однако эффективность их применения будет различна: разная производительность процесса, потребляемая мощность на единицу продукции, период стойкости инструмента, полезный выход и так далее. Так, например, применение в технологических процессах при делении материала ленточных пил позволило увеличить полезный выход продукции. Это особенно важно, когда ведется обработка ценных пород древесины.

Значимое место при обработке древесных материалов занимает и фрезерование. При получении фасонных или профильных поверхностей этому виду резания порой нет и замены. Поэтому дальнейшее проведение работ по совершенствованию или созданию новых фрезерных инструментов, системы управления технологическим процессом является задачей актуальной и своевременной.

На кафедре «Деревообрабатывающие станки и инструменты» ведутся работы по совершенствованию деревообрабатывающего оборудования и инструментов, инновационного их развития, обеспечивающих ресурсосбережение [1–4].

Предлагаемая к рассмотрению система управления позволит производить контроль и установку заданных угловых параметров базовому инструменту непосредственно во время обработки древесных материалов. Ее реализация в производстве позволит уменьшить ассортимент инструментального хозяйства, потребление электроэнергии во время обработки материала и повысить производительность процесса за счет уменьшения времени на переналадку оборудования.

**Основная часть.** Целью работы является разработка системы дистанционного управления фрезерным инструментом с изменяемыми угловыми параметрами, обеспечивающей уменьшение мощности на резание, улучшение качества получаемой поверхности и увеличение производительности машин.

На начальном этапе разрабатывается структурная схема механизма. Проектируемое устройство должно производить поворот сегментов во время вращения фрезы, задание угла поворота сегментов осуществляться дистанционно с помощью смартфона. Также дистанционно должен производиться и контроль угла поворота.

При разработке структурной схемы были соблюдены следующие правила:

а) структурная схема должна состоять из минимально возможного количества элементов, что позволит уменьшить время диагностики неполадок в случае их появления, а также снизить себестоимость всего механизма;

б) схема должна быть читабельна для понимания принципа ее работы;

в) использовать, по возможности и целесообразности, наиболее распространенные элементы. Например, использование смартфона в качестве устройства ВВОДА и мониторинга информации о положении режущего элемента.

Придерживаясь данных правил, была разработана следующая структурная схема (рис. 1).

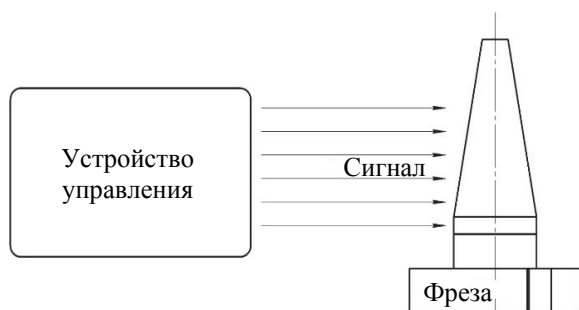


Рис. 1. Структурная схема механизма

Структурная схема состоит из устройства управления (смартфона) и фрезы, внутри которой находятся считывающее устройство, преобразователь и исполнительный механизм.

Посредством Wi-Fi соединения между смартфоном и считывающим устройством фрезы происходит постоянный обмен данными. Благодаря этому имеем возможность постоянного контроля угла поворота сегментов.

Далее выбираем составные элементы системы.

#### 1) Плата управления.

Arduino – это небольшая плата с собственным процессором и памятью. На плате также есть пара десятков контактов, к которым можно

подключать всевозможные компоненты: лампы, датчики, моторы, роутеры, магнитные дверные замки и все, что работает от электричества.

В процессор Arduino можно загрузить программу, которая будет управлять всеми этими устройствами по заданному алгоритму.

Платформа Arduino Nano – открытая и компактная платформа из семейства Arduino, построенная на микроконтроллере ATmega328 (Arduino Nano 3.0) или ATmega168 (Arduino Nano 2.x), имеет небольшие размеры [5].

На рис. 2 представлена плата Arduino Nano.

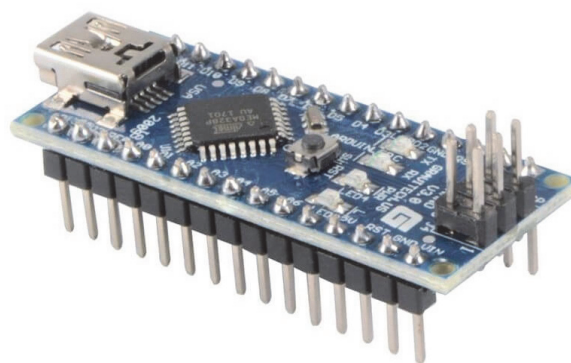


Рис. 2. Плата Arduino Nano

Arduino Nano – это уменьшенный аналог Arduino Uno, отличающийся формфактором платы, которая в 2–2,5 раза меньше, чем Arduino Uno, отсутствием силового разъема постоянного тока.

#### 2) Сервопривод.

Под сервоприводом понимают механизм с электромотором, который может повернуться на заданный угол и удерживать это положение.

Сервопривод – это привод с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения. Сервоприводом является любой тип механического привода, имеющий в составе датчик (положения, скорости, усилия и т. п.) и блок управления, автоматически поддерживающий необходимые параметры на заданном значении. Иными словами, сервопривод получает на вход значение управляющего параметра. Например, угол поворота, блок управления сравнивает это значение со значением на своем датчике, на основе результата сравнения привод производит некоторое действие, например поворот, ускорение или замедление, так, чтобы значение с внутреннего датчика стало как можно ближе к значению внешнего управляющего параметра.

Наиболее распространены сервоприводы, которые удерживают заданный угол, и сервоприводы, поддерживающие заданную скорость вращения.



Типичный хобби-сервопривод изображен на рис. 3 [6].



Рис. 3. Типичный хобби-сервопривод

### 3) Wi-Fi модуль.

ESP8266 – микроконтроллер с интерфейсом Wi-Fi, который имеет возможность выполнять программы из Flash-памяти. Устройство было выпущено в 2014 г. китайской фирмой Espressif и практически сразу же стало популярным.

Контроллер недорогой, обладает небольшим количеством внешних элементов и имеет следующие технические параметры:

- поддерживает Wi-Fi протоколы 802.11 b/g/n с WEP, WPA, WPA2;
- обладает 14 портами ввода и вывода, SPI, I2C, UART, 10-бит АЦП;
- поддерживает внешнюю память до 16 МБ;
- необходимое питание от 2,2 до 3,6 В, потребляемый ток до 300 мА в зависимости от выбранного режима.

Важной особенностью является отсутствие пользовательской энергонезависимой памяти на кристалле. Программа выполняется от внешней SPI ПЗУ при помощи динамической загрузки необходимых элементов программы. Доступ к внутренней периферии можно получить не из документации, а из API набора библиотек [7].

ESP-01 – плата-модуль Wi-Fi на базе популярного чипсета ESP8266EX (рис. 4). На борту платы находится микросхема Flash-памяти объемом 2 МБ, чип ESP8266EX, кварцевый резонатор, два индикаторных светодиода и миниатюрная антенна из дорожки на верхнем слое печатной платы в виде змейки. Flash-память необходима для хранения программного обеспечения. При каждом включении питания про-

граммное обеспечение автоматически загружается в чип ESP8266EX.

По умолчанию модуль настроен на работу через «AT-команды». Управляющая плата посылает команды – Wi-Fi модуль в свою очередь выполняет соответствующую операцию.

Внутри чипа ESP8266 находится полноценный микроконтроллер, который является самодостаточным устройством. Прошивать модуль можно на разных языках программирования.

Родное напряжение модуля – 3,3 В. Его пины не «толерантны» к 5 В. Если подать напряжение выше, чем 3,3 В на пин питания, коммутация или ввода-вывода, модуль выйдет из строя. Поэтому для передачи данных на модуль с 5-вольтовых управляющих плат используют делитель напряжения, чтобы перевести напряжение в допустимый диапазон.

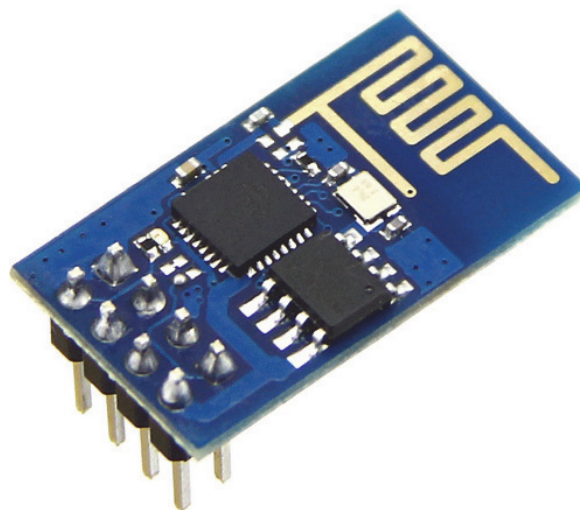


Рис. 4. Плата-модуль Wi-Fi на базе чипсета ESP8266EX

Никаких посредников для приема данных не нужно. Сигнал в 3,3 В воспринимается управляющей платой, как логическая единица.

Модуль потребляет в пике 220 мА. Регулятора напряжения, используемого на пятивольтовых платах Arduino для пина 3,3 В, может оказаться недостаточно. Например, Arduino Uno и Arduino Leonardo могут выдать не более 50 мА с пина 3,3 В, поэтому с ними нужно обязательно использовать внешний регулятор; а Iskra Neo может выдать до 800 мА, поэтому с ней можно питать ESP8266 прямо от платы.

Далее следует подобрать сервопривод.

При фрезеровании древесины и древесных материалов на фрезерный инструмент действуют как внешние, так и внутренние силы. К внешним силам относятся касательная и радиальная составляющие силы резания. Внутренним – сила трения и инерции.

Величина силы трения, возникающая в направляющих сегментов, и касательная составляющая силы резания, влияют на габаритные размеры фрезы. При повышении этих сил возникает необходимость в увеличении крутящего момента сервопривода, вращающего поворотный валик, что существенно влияет на габариты фрезы.

Для выбора сервопривода необходимо решить следующие задачи:

1) рассчитать касательную и радиальную составляющие силы резания при полном использовании мощности двигателя привода резания;

2) вычислить силу инерции, действующую на сегмент в сборе;

3) найти силы трения, вызванные действием силы инерции и радиальной составляющей силы резания;

4) определить момент, создаваемый силами сопротивления.

По данным вычислений необходимо определить минимально допустимый крутящий момент сервопривода.

В качестве базовой машины будем использовать многооперационный станок с ЧПУ модели Rover 22, имеющий следующие параметры:

- мощность электродвигателя  $P_{дв} = 7,5$  кВт;
- частота вращения фрезы  $n = 1000$ – $8000$  мин<sup>-1</sup>;
- диаметр фрезы  $D = 80$  мм.

Касательная составляющая силы резания  $F_t$ , Н, определяется по формуле (1):

$$F_t = \frac{1000 \cdot P_{дв}}{v}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость главного движения, м/с.

Скорость главного движения  $v$ , м/с, определяется по формуле (2):

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (2)$$

где  $n$  – частота вращения фрезы, мин<sup>-1</sup>.

$$v_{\min} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 1000}{60 \cdot 1000} = 4,2 \text{ м / с};$$

$$v_{\max} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 8000}{60 \cdot 1000} = 33,5 \text{ м / с},$$

тогда

$$F_{t_{\min}} = \frac{1000 \cdot 7,5}{33,5} = 223,9 \text{ Н};$$

$$F_{t_{\max}} = \frac{1000 \cdot 7,5}{4,2} = 1785 \text{ Н}.$$

Радиальную составляющую силы резания  $F_r$ , Н, находим по формуле (3):

$$F_r = m \cdot F_t, \quad (3)$$

где  $m$  – переходный множитель, принимаем  $m = 1$ .

$$F_{r_{\max}} = 1785 \text{ Н};$$

$$F_{r_{\min}} = 223,9 \text{ Н}.$$

Сила инерции  $F_{ин}$ , Н, рассчитывается по формуле (4):

$$F_{ин} = -a_n \cdot m = -\omega^2 \cdot R_{ин} \cdot m, \quad (4)$$

где  $a_n$  – нормальное (или центростремительное) ускорение, м/с<sup>2</sup>;  $m$  – масса сегмента, кг;  $R_{ин}$  – расстояние от оси вращения фрезы до центра масс сегмента, м.

Масса сегмента и расстояние от оси вращения фрезы до центра масс сегмента определены по трехмерной модели, созданной в программе SolidWorks, и равны соответственно:  $m = 0,049$  кг и  $R_{ин} = 0,026$  м.

Угловая скорость вращения фрезы  $\omega$ , мин<sup>-1</sup>, рассчитывается по формуле (5):

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (5)$$

Для облегчения расчета используем программный пакет Excel. Расчет приведен в табл. 1.

Таблица 1

Расчет силы инерции

$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	$F_{ин}$ , Н
1000	105	14
2000	209	56
3000	314	126
4000	419	224
5000	524	350
6000	628	504
7000	733	686
8000	838	896

Частоту вращения фрезы принимаем в интервале от 1000 до 8000 мин<sup>-1</sup> с шагом 1000 мин<sup>-1</sup>.

Силу трения  $F_{тр}$ , Н, определяем по формуле (6):

$$F_{тр} = N \cdot \mu, \quad (6)$$

где  $N$  – нормальная реакция опоры, Н;  $\mu$  – коэффициент трения.

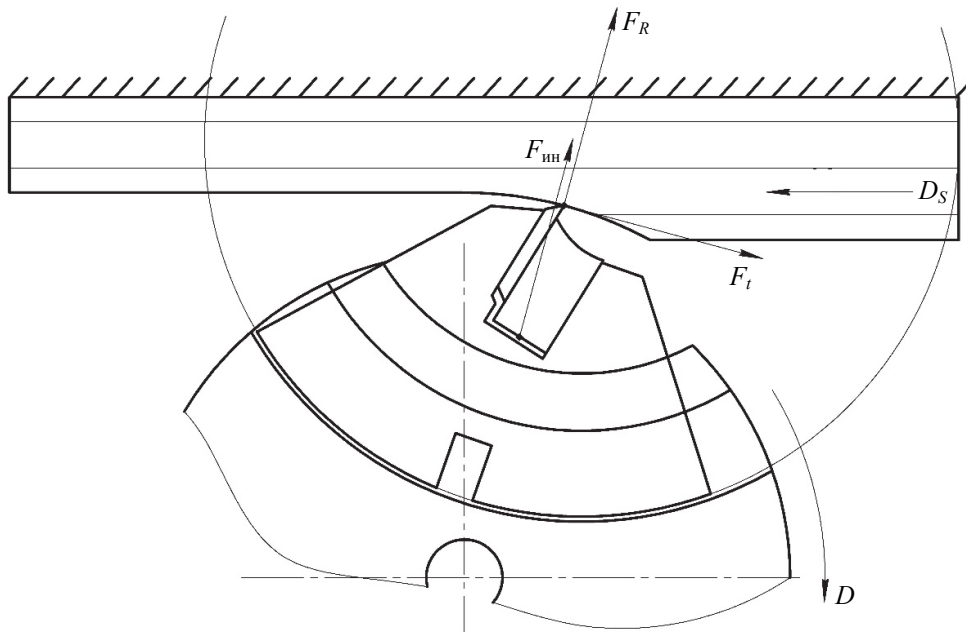


Рис. 5. Расчетная схема для определения нормальной реакции опоры

Принимаем, что коэффициент трения сталь по стали равен  $\mu = 0,1$ .

На рис. 5 приведена расчетная схема для определения нормальной реакции опоры.

Радиальная составляющая силы резания  $F_r$  в данном случае направлена от режущей кромки лезвия в материал. Для определения реакции опоры ее следует развернуть. Составляем уравнение, определяющее нормальную реакцию опоры  $N$  (формула (7)).

$$N = F_{ин} - F_r. \tag{7}$$

Так, при фрезеровании на частоте  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$  нормальная реакция опоры будет равна:

$$N = 14 - 1790 = -1776 \text{ Н.}$$

Сила трения в данном случае:

$$F_{тр} = 1776 \cdot 0,1 = 177,6 \text{ Н.}$$

В табл. 2 приведен расчет силы трения для разных частот вращения фрезы.

Таблица 2

**Расчет силы трения**

$n, \text{ мин}^{-1}$	$F_{ин}, \text{ Н}$	$F_r, \text{ Н}$	$N, \text{ Н}$	$F_{тр}, \text{ Н}$
1000	14	1790	- 1776	178
2000	56	895	- 839	84
3000	126	597	- 471	47
4000	224	448	- 224	22
5000	350	358	- 8	1
6000	504	298	206	21
7000	686	256	430	43
8000	896	224	672	67

Знак минус указывает на то, что сегмент прижимается к корпусу фрезы по верхней поверхности направляющей.

Плюс – по нижней поверхности направляющей.

К силам сопротивления относится касательная составляющая силы резания  $F_t$  и сила трения  $F_{тр}$ .

Момент касательной составляющей силы резания относительно собственной оси вращения  $M_t, \text{ Н}\cdot\text{м}$ , определяется по формуле (8):

$$M_t = F_t \cdot R_t, \tag{8}$$

где  $R_t$  – расстояние от собственной оси вращения сегмента до точки приложения силы  $F_t, \text{ м}$ .

Из чертежа инструмента находим расстояние от собственной оси вращения сегмента до точки приложения силы  $F_t$ , которое равно  $R_t = 0,007 \text{ м}$ .

Момент от силы трения  $M_{тр}, \text{ Н}\cdot\text{м}$ , определяется по формуле (9):

$$M_{тр} = F_{тр} \cdot R_{тр}, \tag{9}$$

где  $R_{тр}$  – расстояние от собственной оси вращения сегмента до точки приложения силы  $F_{тр}, \text{ м}$ .

Это расстояние зависит от поверхности, по которой базируется сегмент на корпусе фрезы. Если по верхней поверхности, то  $R_{тр} = 0,0245 \text{ м}$ . По нижней –  $R_{тр} = 0,0305 \text{ м}$ .

На рис. 6, приведена расчетная схема для определения моментов сил сопротивления.

В табл. 3 дан расчет момента сил сопротивления для различных частот вращения фрезы.



**Заключение.** Разработанная система дистанционного управления позволит производить изменение углов резания без остановки инструмента, что существенно повлияет на производительность процесса фрезерования, так как время на переналадку становится минимальным.

Подобран вариант элементной базы проектируемой системы.

В результате расчетов определен момент сил сопротивления и на основании этого подобран сервопривод, позволяющий преодолеть его.

### Литература

1. Цилиндрическая фреза: пат. 666080 СССР, МПК В27G13/02 / Л. В. Лабурдов, А. П. Клубков, А. П. Фридрих; заявитель Белорусский технологический институт № 2424015; заявл. 29.11.76; опубл. 06.06.79 // Нац. центр интеллектуал. собственности. 1979. С. 4.
2. Гришкевич А. А., Макаревич С. С. Дереворежущий фрезерный инструмент с изменяемыми углами резания ножей, установленных на опоре качения // Труды БГТУ. 2011. № 2 (140): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 219–224.
3. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Аникеенко А. Ф. Результаты лабораторных испытаний рефлекторного фрезерного инструмента при обработке ламинированных ДСтП // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 250–253.
4. Гришкевич А. А., Вихренко В. С., Гаранин В. Н. Особенности расчета сопрягаемых поверхностей рефлекторного фрезерного инструмента // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Междунар. Евразийского симпозиума, Екатеринбург, 22–25 сентября 2015 г. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. С. 149–156.
5. Arduino NANO. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano> (дата обращения: 21.12.2018).
6. Сервоприводы. URL: <http://wiki.amperka.ru/робототехника:сервоприводы> (дата обращения: 21.12.2018).
7. Подключение Arduino UNO к Wi-Fi модулю. URL: <https://arduinoplus.ru/podkluchenie-wi-fi-modulya-k-arduino> (дата обращения: 21.12.2018).
8. S2000MD сервопривод. URL: <http://domanrchobby.com/content/?113.html> (дата обращения: 21.12.2018).

### References

1. Laburdov A. V., Klubkov A. P., Fridrikh A. P. *Tsilindricheskaya freza* [Cylindrical cutter]. Patent USSR, no 666080, 1979.
2. Grishkevich A. A., Makarevich S. S. Wood-cutting milling tool with variable cutting angles of knives mounted on a rolling support. *Trudy BGTU* [Proceedings of BGTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 219–224 (In Russian).
3. Grishkevich A. A., Garanin V. N., Anikayenko A. F. The results of laboratory tests the reflex of the milling tool in the processing of laminated Chipboard. *Trudy BGTU* [Proceedings of BGTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, 2011, pp. 250–253 (In Russian).
4. Grishkevich A. A., Vihrenko V. S., Garanin V. N. Features of calculation of mating surfaces of the reflex milling tool. *Trudy X Mezhdunar. Yevraziyskogo simpoziuma "Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka"* [Proceedings of the X International Eurasian Symposium "Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century". Yekaterinburg, 2015, pp. 149–156.
5. *Arduino NANO* [Arduino NANO]. Available at: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano> (accessed 21.12.2018).
6. *Servoprivody* [Servo-motion]. Available at: <http://wiki.amperka.ru/робототехника:сервоприводы> (accessed 21.12.2018).
7. *Podklycheniye Arduino UNO k Wi-Fi moduly* [Connecting an arduino to the wi-fi module]. Available: <https://arduinoplus.ru/podkluchenie-wi-fi-modulya-k-arduino> (accessed 21.12.2018).
8. *S2000MD servoprivod* [S2000MD servo-motion]. Available: <http://domanrchobby.com/content/?113.html> (accessed 21.12.2018).

### 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

**Аникеенко Андрей Федорович** – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

**Бараненко Павел Александрович** – магистрант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

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

**Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

**Anikeyenko Andrey Fedorovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

**Baranenko Pavel Aleksandrovich** – Master's degree student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

*Поступила 15.10.2019*



УДК 621.9

**А. А. Миронов<sup>1</sup>, И. А. Попов<sup>1</sup>, А. Н. Скрыпник<sup>1</sup>, Г. С. Маршалова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А. Н. Туполева – КАИ (Российская Федерация)<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛОВ  
ДЛЯ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

На сегодняшний день основное направление исследований в области повышения конвективного теплообмена со стороны дымовых газов в газотрубных котлах – это поиск оптимальных форм интенсификаторов. Предложены новые теплопередающие поверхности, позволяющие интенсифицировать теплообмен в газовых трактах твердотопливных напольных котлов для сжигания древесных отходов. Интенсификация реализуется за счет нанесения на теплопередающие поверхности периодических углублений овально-дуговой и овально-траншейной формы. Исследования коэффициентов сопротивления при турбулентном режиме течения в каналах со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок, показали, что коэффициенты гидравлического сопротивления канала с односторонним расположением системы из трех рядов по потоку овально-дуговых выемок в 2,25 раза выше, чем в гладкостенном канале, но на 10–13% ниже, чем у канала с подобным расположением системы овально-траншейных выемок тех же относительных размеров и практически на том же уровне, что и у сферических выемок при той же площади пятна одиночной выемки. Выявленные эффекты интенсификации теплоотдачи и повышения гидросопротивления позволили выявить, что максимальный фактор аналогии Рейнольдса наблюдается в каналах с системами овально-дуговых выемок и составляет при турбулентном режиме течения  $\varepsilon = 1,11$ , для каналов с овально-траншейными и сферическими выемками при рассматриваемых условиях значения данного фактора составили 0,972 и 0,68 соответственно.

**Ключевые слова:** интенсификация теплообмена, численное моделирование, теплоотдача, гидравлическое сопротивление, овально-дуговые углубления.

**A. A. Mironov<sup>1</sup>, I. A. Popov<sup>1</sup>, A. N. Skrypnik<sup>1</sup>, G. S. Marshchalova<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev – KAI (Russian Federation)<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**IMPROVEMENT OF POWER EFFICIENCY OF WOOD-BURNING STOVES**

To date, the main focus area of research in the field of increasing convective heat transfer on the flue gases side in gas tube boilers is the determination of turbulent promoters optimal shape. New heat transfer surfaces have been proposed to increase heat transfer in the gas paths of solid fuel floor boilers for burning wood waste. A heat transfer augmentation is attained by the application of periodical dimples of an oval-arc and oval-trench shape to the heat-transferring surfaces. The comparison of the drag coefficient measurements for the turbulent flow in channels with surfaces with multi-row systems of oval-trench and oval-arc dimples has been carried out. It is shown that the drag coefficients for flow over the surfaces with a one-sided arrangement of a three-row system of oval-arc dimples are 2.25 times higher than for the flow in a smooth-surface channel. However, for the flow over the surfaces with the system of oval-arc dimples the drag coefficient values decreases by 10-13% in comparison to the flow over the surface with the system of oval-trench dimples of those relative sizes, and almost at the same level as for the flow over surfaces with the system of hemispherical dimples (for the same spot area of a single dimple). The revealed heat transfer augmentation effects and rise of the hydraulic resistance indicated that the maximum value of a Reynolds analogy factor is observed for the flow over the surfaces with the system of oval-arc dimples  $\varepsilon = 1.11$  for turbulent flow regime. The corresponding values for the flow over the surfaces with the systems of oval-trench and spherical dimples under the considered conditions were found to be  $\varepsilon = 0.972$  and  $\varepsilon = 0.68$ , respectively.

**Key words:** heat transfer augmentation, numerical simulations, convective heat transfer, friction factor, oval-arched trenches.

**Введение.** С ростом потребности в продукции деревообрабатывающей промышленности и, соответственно, увеличением количества от-

ходов ведения лесного хозяйства, использование в качестве топлива получаемых в процессах лесопиления и деревообработки древесных

отходов (горбылей, опилок, щепы, стружки, коры) приобретает актуальное значение по ряду причин: для удешевления себестоимости теплоносителей, для решения проблем деревообрабатывающих производств и для обеспечения автономности их энергообеспечения [1]. Основным направлением утилизации древесных отходов является прямое их сжигание с получением теплоносителя в виде горячей воды или пара.

При распиловке  $100\,000\text{ м}^3$  пиловочного сырья и собственной переработке  $20\,000\text{ м}^3$  пиломатериалов количество древесных отходов (с учетом коры) составит около  $40\,000\text{ м}^3$ ; потери на распыл и усушку – около  $7000\text{ м}^3$  [2]. На сушку  $1\text{ м}^3$  пиломатериала необходимо примерно  $0,4\text{ м}^3$  древесных отходов (в плотном виде учета). Следовательно, получаемые древесные отходы достаточны как для сушки потребных объемов пиломатериалов, так и при необходимости для отопления производственных помещений. На предприятиях возможно накопление древесного топлива, особенно в неоптоительный период.

Ряд отечественных и иностранных фирм уже давно предлагают напольные котлы малой мощности, использующие древесные отходы в качестве топлива [3]. Для удобства использования разнородных древесных отходов их перерабатывают в древесные пеллеты, что унифицирует конструкцию и режимы работы котлов. Появились и отечественные производители энергетических установок, в которых в качестве топлива используются отходы деревообрабатывающего производства (опилки, обрезки, щепы) или древесные пеллеты, а теплоносителем является горячая вода. Большинство котельных установок на древесном топливе – это современные энергетические установки, имеющие высокий КПД (от 80 до 85%).

В газотрубных котлах для повышения теплоотдачи со стороны дымовых газов, а также эффективности котла в целом устанавливают скрученные ленты, гофрированные ленты-интенсификаторы, дискретно-шероховатые трубы [4]. Однако в твердотопливных котлах с плоскими трубами для протекания теплоносителя стенки обычно гладкие, что обеспечивает незначительные коэффициенты теплоотдачи со стороны дымовых газов.

На плоских поверхностях весьма перспективно использование поверхностных интенсификаторов-вихрегенераторов в виде углублений различной формы и расположения. На сегодняшний день основное направление исследований в области повышения конвективного теплообмена – это поиск оптимальных форм интенсификаторов. Работы по обеспечению со-

поставимого, а, желательного, и опережающего прироста теплоотдачи по сравнению с гидравлическими потерями, вызывают огромный интерес у производителей и потребителей теплообменного оборудования и ставят новые задачи перед исследователями [5–7].

В последние годы огромные успехи достигнуты за счет использования современных вычислительных технологий. Использование численных методов исследования резко повысило эффективность работ, так как снизило затраты, связанные с постановкой теплофизических экспериментов.

Необходимо выделить серию работ, проводимых доктором физико-математических наук, профессором Исаевым С. А. [8–11]. В последнее десятилетие под его научным руководством проведены исследования симметричных и асимметричных сферических, овальных, цилиндрических, удлиненных и прочих выемок. Использование численного эксперимента позволило детально оценить влияние различных режимных (начальная турбулентность, теплофизические свойства вещества, градиент давления, режим и скорость обтекания) и конструктивных (глубина, диаметр лунок, их удлинение, угол натекания потока и т. д.) параметров и выявить оптимальные с точки зрения теплогидравлической эффективности формы. Однако для дальнейшего проведения работ требуется верификация численных алгоритмов и полученных результатов.

В литературе [8] представлены результаты численного исследования характеристик теплообменной поверхности с овальными углублениями. Для повышения эффективности были исследованы теплообменные поверхности с углублениями, полученными протяжкой сферической выемки по дуге окружности [12]. В ходе анализа теплогидравлических характеристик данных типов генераторов вихрей установлено, что недостатком исследованных теплообменных поверхностей являются низкая тепловая и теплогидравлическая эффективность и высокие потери энергии потока на трение.

Задача, на решение которой направлено представленное исследование, – повышение теплогидравлической эффективности теплообменных каналов.

В работах [8–11] показано, что удлинение выемок приводит к усилению рециркуляционных течений в лунке и повышению на ее дне локальных коэффициентов теплоотдачи и, как следствие, увеличению осредненного по поверхности с рельефом из выемок коэффициента теплоотдачи. В связи с этим рекомендуется на практике выполнять углубления овально-траншейной и овально-дуговой формы.

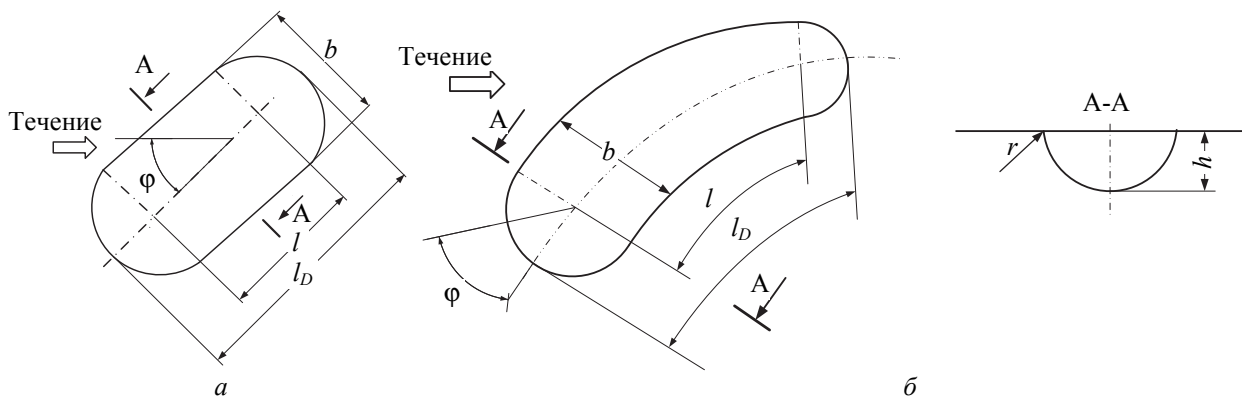


Рис. 1. Схема овально-траншейной (а) и овально-дуговой (б) выемки:  
 $l$  – длина цилиндрической части углубления, мм;  $l_k$  – длина углубления, мм;  $h$  – глубина, мм;  
 $b$  – ширина углубления, мм;  $r$  – радиус скругления кромок углубления, мм;  
 $\phi$  – угол натекания потока на углубление, град

Форма углубления формируется из двух половинок сферической выемки диаметром  $b$ , соединенных цилиндрическим сегментом длиной  $l$  таким образом, чтобы реализовывалось условие: в первом случае – касательная к данному сегменту составляет угол  $\phi = 45^\circ$  по отношению к направлению потока; во втором случае – касательная к данному сегменту составляет угол  $\phi = 45^\circ$  по отношению к направлению потока в начале углубления и угол  $0^\circ$  в конце углубления (рис. 1).

Выемка должна иметь относительно большое удлинение ( $l/b = 4,70-5,78$  или  $l_k/b = 5,57-6,78$ ) и относительную глубину  $h/b = 0,34-0,37$ .

**Основная часть** Экспериментальный стенд, представленный на рис. 2, выполнен в виде воздушной магистрали, которая подключена к трем компрессорам производительностью 2400 л/мин, 1400 л/мин и 800 л/мин. Выбор компрессора осуществляется электромагнитным двухпозиционными клапанами пилотного действия 4, 5, 6, которые управляются с помощью щитка управления клапанов 21. Рабочее тело проходит через фильтрационный модуль для очистки сжатого воздуха 7 и осушитель 8. Экспериментальный стенд имеет несколько режимов работы как напрямую от компрессоров 1, 2, 3, так и с попеременным включением и накачкой ресиверов 10, 12, режим работы регулируется с помощью вентилей 9. Массовый расход рабочего тела регулируется как с помощью шарового крана с электроприводом 14, так и с помощью шарового крана с электроприводом для перепуска и тем самым более тонкой подачи рабочего тела на рабочий участок. Управление рабочими элементами 14, 15, 17, 18 осуществляется с помощью контроллера 20. Измерение массового расхода осуществляется ультразвуковым расходомером. Экспериментальный стенд оснащен подогревателем возду-

ха 17 и нагревателем поверхности с интенсификаторами в рабочем участке. Рабочая поверхность в участке нагревалась за счет подложки, выполненной в виде змеевикового проволочного нагревателя. Рабочий участок устанавливается в конце воздушной магистрали.

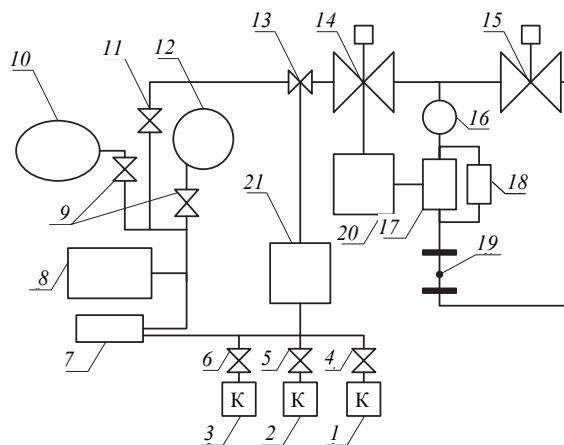


Рис. 2. Схема экспериментального стенда:  
 1 – компрессор (производительность 2400 л/мин);  
 2 – компрессор (1400 л/мин); 3 – компрессор (880 л/мин); 4, 5, 6, 13 – клапан электромагнитный двухпозиционный пилотного действия;  
 7 – фильтрационный модуль для очистки сжатого воздуха; 8 – осушитель; 9, 11 – вентили;  
 10, 12 – ресиверы; 14 – шаровой кран с электроприводом; 15 – шаровой кран с электроприводом для перепуска;  
 16 – ультразвуковой расходомер-счетчик газа; 17 – нагреватель; 18 – источник энергии для нагревателя; 19 – рабочий участок;  
 20 – контроллер; 21 – щиток для управления клапанами 4, 5, 6, 13

Рабочий участок представляет собой щелевой канал со сменной интенсифицированной пластиной, пред- и постучастком длиной 50 калибров от эквивалентного диаметра.

Для исследования гидросопротивления в крышке рабочего участка сделаны отборники статического давления  $d = 0,8$  мм и установлены хромель-копелевые термопары по длине рабочего участка для измерения температуры интенсифицированной поверхности, на входе в участок и гребенка термопар на выходе из участка для определения температуры потока до и после рабочего участка.

По измеренным значениям перепада давления  $\Delta P$  на рабочем участке, давления на входе в него, расхода воздуха  $G$ , температурам потока на входе и выходе из участка, средней температуре поверхности теплообмена, а также мощности, подаваемой на электронагреватель, определяется коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi$  и средний коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ :

$$\xi = 2 \cdot \Delta P \cdot d_s / (\rho \cdot w^2 \cdot L); \quad (1)$$

$$\alpha = Q / (\Delta t \cdot F), \quad (2)$$

где  $\Delta P$  – потери давления на прокачку теплоносителя через рабочий участок;  $d_s = 4 F / \Pi$  – эквивалентный диаметр щелевого канала рабочего участка;  $\rho$  – плотность теплоносителя (воздух);  $w = G / (\rho \cdot F_k)$  – среднерасходная скорость воздушного потока;  $L$ ,  $F_k$  и  $\Pi$  – длина, площадь и периметр поперечного сечения рабочего участка;  $Q$  – тепловой поток, отводимый от нагреваемой поверхности, определяемый калориметрическим способом по измеренным расходу и температурам потока и контролируемый по параметрам электрического тока, подаваемого на нагреватель под рабочей поверхностью, с учетом потерь тепловой энергии;  $\Delta t = t_w - t_f$  – разность средних температур нагреваемой интенсифицированной поверхности и средней температуры потока в канале рабочего участка;  $F$  – поверхность теплообмена, рассчитываемая без учета развития поверхности выемками (по гладкой поверхности).

В качестве определяющих размеров при вычислении критериев подобия использовалась эквивалентный диаметр  $d_s$  щелевого канала рабочего участка, а в качестве определяющей температуры – средняя температура теплоносителя в канале.

Погрешность определения гидравлического сопротивления эксперимента не превысила 6%, теплоотдачи – 12%.

Результаты тестовых опытов показали согласие для турбулентного режима течения (с отклонением в пределах 10–15%) расчетных и экспериментальных данных по теплоотдаче ( $Nu = 0,018 Re^{0,8} (T_f / T_w)^{0,5}$ ), а также гидравлическому сопротивлению ( $\xi = 0,3164 / Re^{0,25}$ ).

Овально-траншейная форма выемки является поверхностным генератором спиралевидных

высокоинтенсивных моновихрей и позволяет повысить скорость вторичного течения до величин порядка, характерных скорости потока в стесненном канале (среднемассовой или максимальной), что в несколько раз превышает скорости вторичного течения, индуцированные традиционными сферическими выемками, и отличается высокой стабильностью и интенсивностью вихревого течения в следе за ним по сравнению с аналогами в виде овальных выемок различного удлинения.

Сравнительный анализ теплообменных поверхностей с аналогами (сферическими и овальными углублениями) и предлагаемой формой интенсификатора теплообмена в форме овально-дуговой выемки проводился с использованием результатов численного моделирования [8, 9]. В ходе численных исследований показано, что с увеличением удлинения овально-траншейного углубления до  $l_k / b = 6,78$  теплогидравлические характеристики прямоугольного участка канала с выемкой кардинально улучшаются по сравнению со сферической выемкой. Темп возрастания тепловой эффективности значительно опережает рост гидравлических потерь.

Для проверки результатов, полученных в ходе численного моделирования, проведены экспериментальные исследования структуры течения в каналах с различными типами интенсификаторов.

Анализ картин растекания и полей температур (локальных коэффициентов теплоотдачи), представленный в работах [13, 14], показывает, что в области крайней по ходу течения кромки выемки возникают области с пониженными скоростями, а значит, с малыми локальными коэффициентами теплоотдачи. При удлинении выемки появление данных областей неизбежно, но необходимы решения по повышению скорости течения и, как следствие, локальных коэффициентов теплоотдачи.

Для этого предложена новая форма углубления – в виде овально-дуговых углублений.

Первичные результаты исследований структуры течения потока вблизи овально-дуговых выемок показали отсутствие застойных зон во второй половине выемок, а значит, увеличение локальных скоростей в ней, и, как следствие, прогнозируется повышение локальных коэффициентов теплоотдачи.

Исследование коэффициентов сопротивления проводилось в каналах длиной 198 мм, шириной 98 мм и высотой 1,5 мм со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок.

Установлено, что коэффициенты гидравлического сопротивления канала с односторон-

ним расположением системы из трех рядов по потоку овально-дуговых выемок  $h/b = 0,25$ ;  $l_k/b = 7$  на 10–13% ниже (рис. 3), чем у канала с подобным расположением системы овально-траншейных выемок тех же относительных размеров при расположении к потоку входных кромок  $45^\circ$ . При этом уровень гидросопротивления при турбулентном режиме течения теплоносителя овально-дуговых выемок практически на том же уровне, что и у сферических выемок при той же площади пятна одиночной выемки. Повышение же уровня гидросопротивления по отношению к гладкому каналу составляет при турбулентном режиме течения 2,5–3 раза. Данные подтвердились при исследованиях коэффициентов гидросопротивления при течениях воды [14].

Также проведено экспериментальное исследование коэффициентов гидросопротивления щелевых каналов с одnorядным расположением овально-траншейных и овально-дуговых выемок при течениях воздуха. Результаты исследования в узких каналах высотой 3 мм и шириной 21 мм также подтвердили вышеустановленный факт, что коэффициенты гидравлического сопротивления канала с односторонним расположением овально-дуговых выемок ( $h/b = 0,33$ ;  $l_k/b = 7$ ) на 10–13% ниже (рис. 4), чем у такого же канала при расположении к потоку входных кромок  $45^\circ$ . Однако следует отметить, что уровень коэффициентов гидравлического сопротивления при турбулентном режиме течения значительно ниже в каналах с одnorядным расположением выемок относительной глубины

$h/b = 0,33$  и относительной длине выемок  $l_k/b = 7$  – в 1,8–2,5 раза, чем уровень коэффициентов гидравлического сопротивления при турбулентном режиме течения в каналах с многорядным расположением выемок относительной глубины  $h/b = 0,25$  и той же относительной длины.

Таким образом, повышение уровня коэффициентов гидросопротивления в каналах с овально-дуговыми выемками по отношению к гладкому каналу составляет около 1,25 раза.

В работах [13, 14] на основе термограмм тепловизионных исследований было установлено, что средняя разница температур поверхности и потока при фиксированном тепловом потоке и турбулентном режиме течения для систем овально-дуговых выемок на 5–20% ниже при различных скоростях потока, чем для поверхностей с овально-траншейными выемками.

Данный факт подтвердился и при исследовании средних коэффициентов теплоотдачи при течениях воздуха в каналах длиной 198 мм, шириной 98 мм и высотой 1,5 мм со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок.

Установлено, что коэффициенты теплоотдачи в канале с односторонним расположением системы из трех рядов по потоку овально-дуговых выемок  $h/b = 0,25$ ;  $l_k/b = 7$  на 5–10% выше (рис. 5), чем у канала с подобным расположением системы овально-траншейных выемок тех же относительных размеров при расположении к потоку входных кромок  $45^\circ$ .

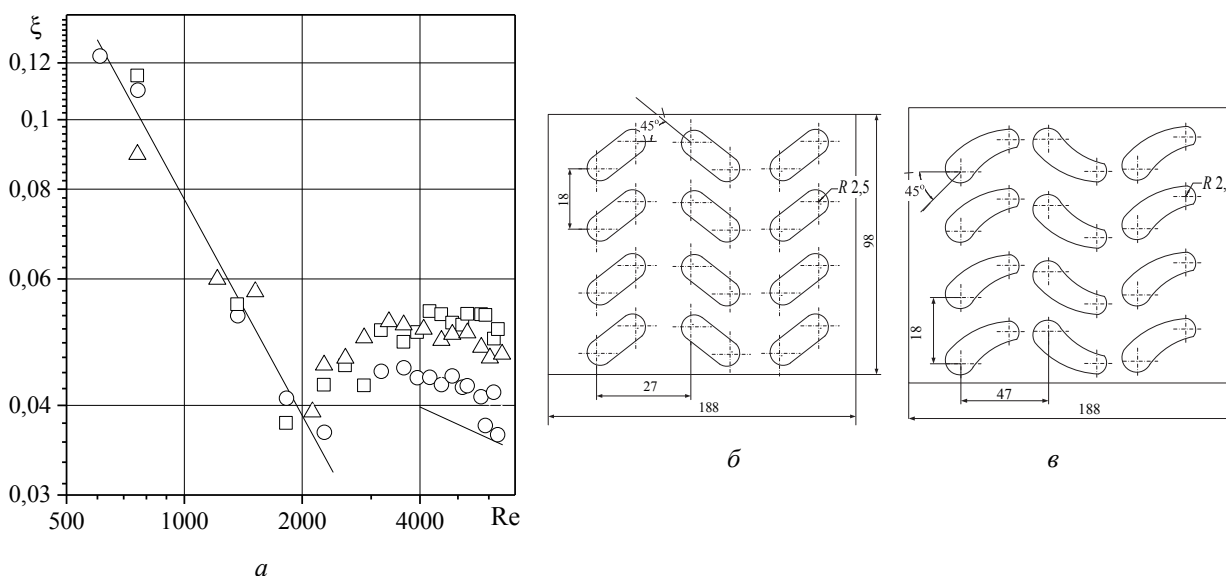


Рис. 3. Коэффициенты гидросопротивления (а) в каналах со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных (б) и овально-дуговых (в) выемок: — гладкостенный канал (расчет для ламинарного и турбулентного режимов); эксперимент: ○ – гладкостенный канал; □ – канал с овально-траншейными выемками; △ – канал с овально-дуговыми выемками

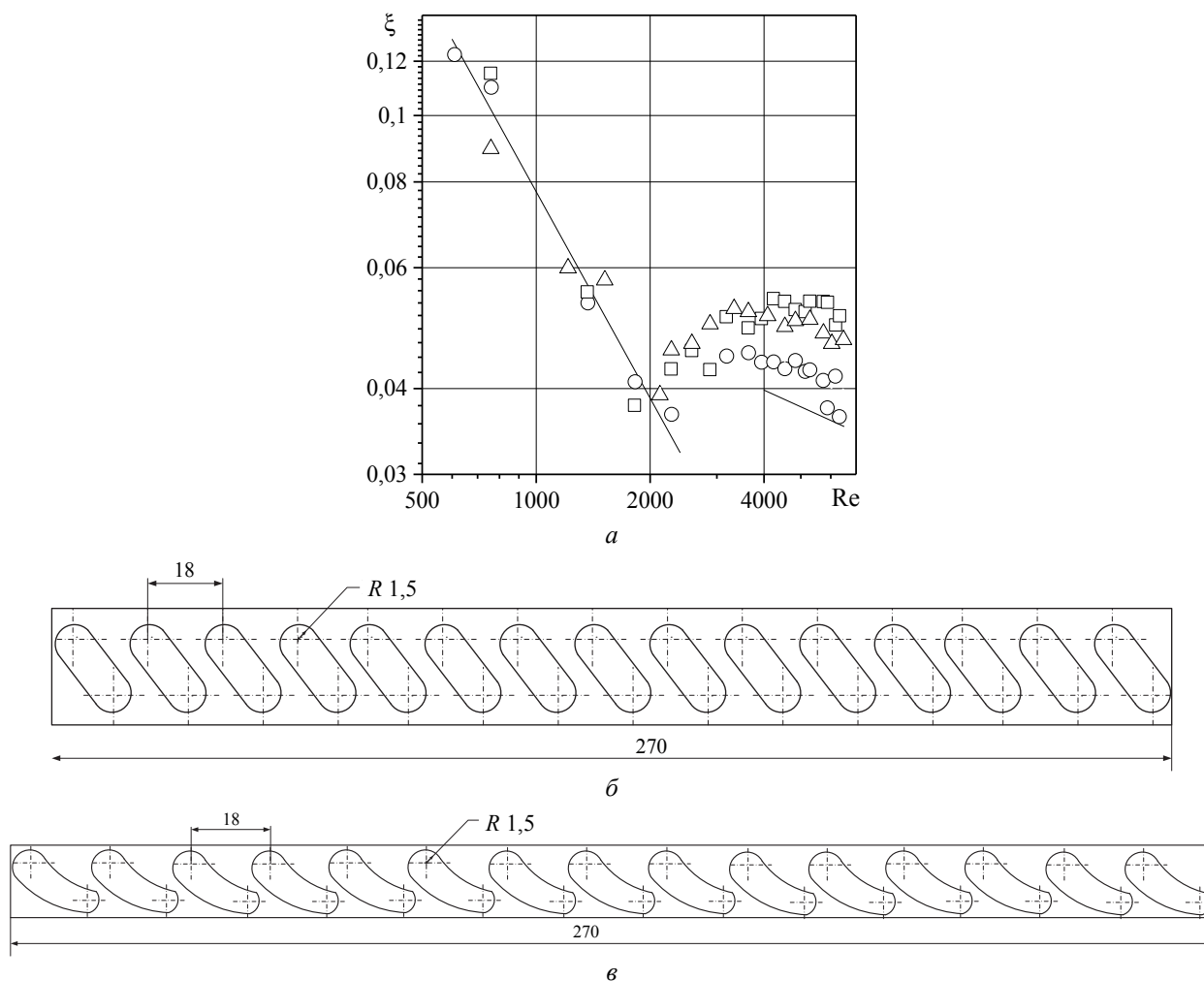


Рис. 4. Коэффициенты гидросопротивления (а) в каналах со стенкой, покрытой однорядной системой овально-траншейных (б) и овально-дуговых (е) выемок:

— гладкостенный канал (расчет для ламинарного и турбулентного режимов); эксперимент:

○ – гладкостенный канал; □ – канал с овально-траншейными выемками; △ – канал с овально-дуговыми выемками

При этом уровень теплоотдачи в каналах с овально-дуговыми выемками с  $h/b = 0,25$ ;  $l_k/b = 7$  до 20% выше, чем в каналах со сферическими выемками при той же площади пятна одиночной выемки. Интенсификация теплоотдачи в каналах с овально-дуговыми выемками с  $h/b = 0,25$ ;  $l_k/b = 7$  составляет около 2,5 раза по сравнению с гладким каналом.

Также проведена серия экспериментов по определению коэффициентов теплоотдачи с односторонним расположением однорядных систем овально-траншейных и овально-дуговых выемок с  $h/b = 0,33$ ;  $l_k/b = 7$  в диапазоне турбулентных течений (рис. 6).

Установлено, что коэффициенты теплоотдачи в канале с овально-траншейными выемками в 2–2,3 раза выше, чем в гладкостенном канале, в исследованном диапазоне числа Рейнольдса. Сравнительный анализ теплогидравлической эффективности рассмотренных каналов

с многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок относительной глубины  $h/b = 0,25$  и относительной длины  $l_k/b = 7$  производился по критериям тепловой эффективности  $\varepsilon_T = Nu / Nu_{г\lambda}$  и по фактору аналогии Рейнольдса  $\varepsilon = (Nu / Nu_{г\lambda}) / (\xi / \xi_{г\lambda})$ , где  $Nu_{г\lambda}$  и  $\xi_{г\lambda}$  – значения числа Нуссельта и коэффициента гидросопротивления в гладкостенном канале.

Анализ показал, что максимальная тепловая эффективность без учета развития поверхности за счет выемок свойственна каналу с овально-дуговыми выемками  $\varepsilon_T = 2,5$  раза в исследованном диапазоне числа  $Re = 4000–20\,000$ , для каналов с овально-траншейными и сферическими выемками она составила 2,43 и 2,06 соответственно. Максимальные значения фактора аналогии Рейнольдса  $\varepsilon = 1,11$  также были получены для канала с овально-дуговыми выемками.



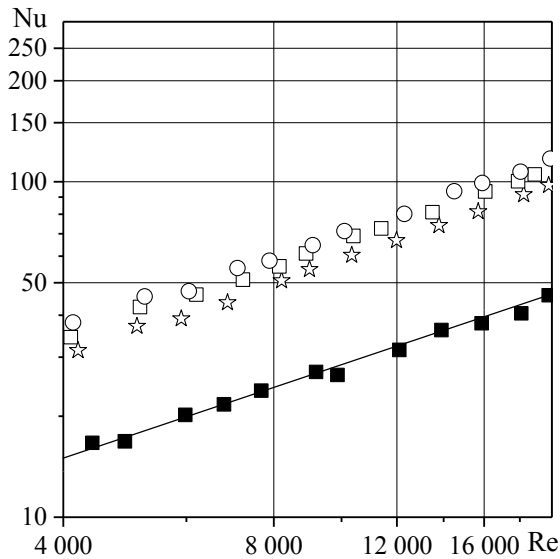


Рис. 5. Теплоотдача в каналах со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок:  
 — гладкостенный канал (расчет для турбулентного режима); эксперимент: ■ – гладкостенный канал; □ – канал с овально-траншейными выемками; ○ – канал с овально-дуговыми выемками; ☆ – канал со сферическими выемками

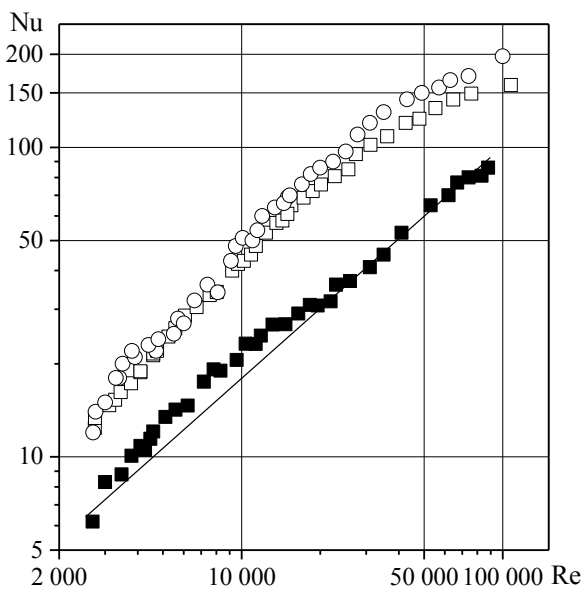


Рис. 6. Коэффициенты теплоотдачи в каналах со стенкой, покрытой однорядной системой овально-траншейных выемок  
 — гладкостенный канал (расчет для турбулентного режима); эксперимент: ■ – гладкостенный канал; □ – канал с овально-траншейными выемками; ○ – канал с овально-дуговыми выемками

Для каналов с овально-траншейными и сферическими выемками при рассматриваемых условиях значения данного фактора составили 0,972 и 0,68 соответственно. Сравнительный

анализ теплогидравлической эффективности канала с однорядной системой овально-траншейных выемок относительной глубины  $h/b = 0,33$  и относительной длины  $l_k/b = 7$  показал, что тепловая эффективность без учета развития поверхности за счет выемок свойственна каналу с овально-траншейными выемками  $\epsilon_T = 2-2,3$  раза в исследованном диапазоне числа  $Re = 3000-80\,000$ . В связи с незначительным ростом гидросопротивления в данных каналах максимальные значения фактора аналогия Рейнольдса  $\epsilon = 1,84$ .

Сравнение уровня теплогидравлической эффективности одно- и многорядных систем овально-траншейных выемок и выявленная практически одинаковая их тепловая эффективность показывают, что повышение взаимодействия вихревых структур, истекающих из выемок при многорядных системах, значительно увеличивают гидросопротивление канала, однако на уровень интенсификации теплоотдачи не оказывают значительного влияния.

Основной механизм интенсификации в удлиненных выемках при различных компоновках систем выемок остается прежним – увеличение скорости вихревых структур в выемке, зависящих только от относительного удлинения выемок, и периодическое разрушение пограничного слоя с повышением теплоотдачи в области присоединения потока по задней кромке выемки [7, 9, 10].

**Заключение.** Результаты экспериментального исследования позволяют верифицировать результаты численных исследований [8–11] и показывают перспективность использования нового типа интенсификаторов в виде овально-траншейных и овально-дуговых выемок.

Исследования коэффициентов сопротивления при турбулентном режиме течения в каналах со стенкой, покрытой многорядными системами овально-траншейных и овально-дуговых выемок, показали, что коэффициенты гидравлического сопротивления канала с односторонним расположением системы из трех рядов по потоку овально-дуговых выемок с  $h/b = 0,25$ ;  $l_k/b = 7$  в 2,25 раза выше, чем в гладкостенном канале, но на 10–13% ниже, чем у канала с подобным расположением системы овально-траншейных выемок тех же относительных размеров, и практически на том же уровне, что и у сферических выемок при той же площади пятна одиночной выемки.

Установлено, что коэффициенты теплоотдачи в канале с односторонним расположением многорядных систем овально-дуговых выемок с  $h/b = 0,25$ ;  $l_k/b = 7$  в 2,5 раза выше, чем в гладкостенном канале, на 5–10% выше, чем у канала с подобным расположением системы

овально-траншейных выемок тех же относительных размеров, и до 20% выше, чем в каналах с системами сферических выемок при той же площади пятна одиночной выемки.

Выявленные эффекты интенсификации теплоотдачи и повышения гидросопротивления позволили оценить теплогидравлическую эффективность каналов с выемками  $h/b = 0,25$ ;  $l_k/b = 7$  и установить, что максимальный фак-

тор аналогии Рейнольдса наблюдается в каналах с системами овально-дуговых выемок и составляет при турбулентном режиме течения  $\varepsilon = 1,11$ . Для каналов с овально-траншейными и сферическими выемками при рассматриваемых условиях значения данного фактора составили 0,972 и 0,68 соответственно.

Работа выполнена в рамках полученного гранта РФФИ 18-38-00356, БРФФИ Т 19 РМ-076.

### Литература

1. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная пром-сть, 1987. 224 с.
2. Энергетическое использование древесных отходов лесопильного производства / Н. Н. Дубинина [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 45. С. 17–21.
3. Рябов Г. А., Литун Д. С. Водогрейные котлы для сжигания древесных отходов // Новости теплоснабжения. 2002. № 12. С. 21–24.
4. Попов И. А., Махьянов Х. М., Гуреев В. М. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена. Сер. "Интенсификация теплообмена": монография; под общ. ред. Ю. Ф. Гортышова. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. 560 с.
5. Попов И. А., Щелчков А. В., Яркаев М. З. Теплогидравлические характеристики дискретно-шероховатых труб на переходных режимах течения // Известия вузов. Авиационная техника. 2013. № 1. С. 61–65.
6. Интенсивность вихревых структур в диффузорных выемках / А. В. Ильинков [и др.] // Изв. вузов. Авиационная техника. 2018. № 4. С. 75–80.
7. Energy saving in thermal energy systems using dimpled surface technology – A review on mechanisms and applications / S. Rashidi [et al.] // Applied Energy. 2019. Vol. 250. P. 1491–1547.
8. Heat-Exchange Enhancement for Laminar and Turbulent Flows in a Narrow Channel with One-Row Oval Dimples / S. A. Isaev [et al.] // High Temperature. 2015. Vol. 53, no. 3. P. 375–387.
9. Vortex heat transfer enhancement in the narrow plane-parallel channel with the oval-trench dimple of fixed depth and spot area / S. A. Isaev [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 109. 2017. P. 40–62.
10. NT Vortex enhancement of heat transfer and flow in the narrow channel with a dense packing of in-clined one-row oval-trench dimples / S. A. Isaev [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. Vol. 145. P. 1–24.
11. Аномальная интенсификация турбулентного отрывного течения в наклоненных однорядных овально-траншейных лунках на стенке узкого канала / С. А. Исаев [и др.] // ТВТ. 2019. Т. 57, № 5. С. 797–800.
12. Экспериментальное исследование теплообмена и сопротивления лунок сложной формы / Н. А. Киселёв [и др.] // Труды Юбилейной конференции Национального комитета РАН по тепло- и массообмену «Фундаментальные и прикладные проблемы тепломассообмена» и XXI Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А. И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках» (22–26 мая 2017 г., Санкт-Петербург). СПб., 2017. Т. 2. С. 124–127.
13. Поверхностные вихрегенераторы для интенсификации теплоотдачи / А. А. Миронов [и др.] // Труды седьмой Российской национальной конференции по теплообмену: в 3 т. 2018. Т. 3. С. 398–403.
14. Миронов А. А. К выбору рациональной формы и размеров поверхностных вихрегенераторов для интенсификации теплоотдачи // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием, 8–10 августа 2018 г. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2018. Т. 1. С. 374–391.

### References

1. Golovkov S. I., Koperin I. F., Naydenov V. I. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 224 p.
2. Dubinina N. N., Orlov A. A., Korchuk Yu. A., Lyakh N. I. Energy use of wood waste from sawmills. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2016, no. 45, pp. 17–21 (In Russian).

3. Ryabov G. A., Litun D. S. Boilers for combustion of waste wood. *Novosti teplosnabzheniya* [News of heat supply], 2002, no. 12, pp. 21–24 (In Russian).

4. Popov I. A., Makhyanov Kh. M., Gureyev V. M. *Fizicheskiye osnovy i promyshlennoye primeneniye intensifikatsii teploobmena* [Physical foundations and industrial application of heat transfer intensification]. Kazan, Tsentr innovatsionnykh tekhnologiy Publ., 2009. 560 p.

5. Popov I. A., Shchelchkov A. V., Yarkayev M. Z. Thermohydraulic characteristics of discrete-rough pipes in transient flow regimes. *Izvestiya vuzov. Aviatsionnaya tekhnika* [Bulletin of Higher Educational Establishments. Aircraft technology.], 2013, no 1, pp. 61–65 (In Russian).

6. Il'inkov A. V., Takmovtsev V. V., Shchukin A. V., Khabibullin I. I., Zaripov I. Sh. Intensity of vortex structures in diffuser recesses. *Izvestiya vuzov. Aviatsionnaya tekhnika* [Bulletin of Higher Education. Aircraft technology], 2018, no. 4, pp. 75–80 (In Russian).

7. Rashidi S., Hormozi F., Sunden B., Mahia O. Energy saving in thermal energy systems using dimpled surface technology – A review on mechanisms and applications. *Applied Energy*, 2019, vol. 250, pp. 1491–1547.

8. Isayev S. A., Leontiev A. I., Kornev N. V., Hassel E., Chudnovskii Ya. P. Heat-Exchange Enhancement for Laminar and Turbulent Flows in a Narrow Channel with One-Row Oval Dimples. *High Temperature*, 2015, vol. 53, no. 3, pp. 375–387.

9. Isayev S. A., Schelchkov A. V., Leontiev A. I., Gortyshov Yu. F., Baranov P. A., Popov I. A. Vortex heat transfer enhancement in the narrow plane-parallel channel with the oval-trench dimple of fixed depth and spot area. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2017, vol. 109, pp. 40–62.

10. Isayev S. A., Gritckevich M. S., Leontiev A. I., Milman O. O., Nikushchenko D. V. NT Vortex enhancement of heat transfer and flow in the narrow channel with a dense packing of in-clined one-row oval-trench dimples. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2019, vol. 145, pp. 1–24.

11. Isayev S. A., Gritskovich M. S., Leontiev A. I., Popov I. A., Sudakov A. G. Anomalous intensification of the turbulent separation flow in inclined single-row oval-trench holes on the wall of a narrow channel. *Teplofizika vysokikh temperatur* [Thermophysics of High Temperatures], 2019, vol. 57, no. 5, pp. 797–800 (In Russian).

12. Kiselev N. A., Burtsev S. A., Strongin M. M., Vinogradov Yu. A. Experimental study of heat transfer and resistance of wells of complex shape. *Trudy Yubileynoy konferentsii Natsional'nogo komiteta RAN po teplo- i massoobmenu "Fundamental'nyye i prikladnyye problemy teplomassoobmena" i XXI Shkoly-seminara molodyh uchenykh i spetsialistov pod rukovodstvom akad. RAN A. I. Leontieva "Problemy gazodinamiki i teplomassoobmena v energeticheskikh ustanovkakh"* [Proceedings of the Jubilee Conference of the National Committee for Heat and Mass Transfer of the Russian Academy of Sciences "Applied problems of heat and mass transfer" and the XXI School-seminar of young scientists and specialists led by Acad. RAS A. I. Leontieva "Problems of gas dynamics and heat and mass transfer in power plants"]. St. Petersburg, vol. 2, 2017, pp. 124–127 (In Russian).

13. Mironov A. A., Isayev S. A., Gortyshov Yu. F., Popov I. A., Shchelchkov A. V., Sagidullin Zh. A. Surface vortex generators for enhanced heat transfer. *Trudy sed'moy Rossiyskoy natsional'noy konferentsii po teploobmenu* [Proceedings of the Seventh Russian National Conference on heat transfer]. Moscow, 2018, vol. 3, pp. 398–403 (In Russian).

14. Mironov A. A. On the selection of the rational shape and size of surface vortex generators for intensifying heat transfer. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Novyye tekhnologii, materialy i oborudovaniye rossiyskoy aviakosmicheskoy otrasli"* [Materials All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "New Technologies, Materials and Equipment of the Russian Aerospace Industry"]. Kazan, 2018, vol. 1, pp. 374–391 (In Russian).

### Информация об авторах

**Миронов Александр Александрович** – аспирант кафедры теплотехники и энергетического машиностроения. Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева – КАИ (420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10а, Российская Федерация). E-mail: alexander1993@mail.ru.

**Попов Игорь Александрович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения. Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева – КАИ (420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10а, Российская Федерация). E-mail: popov-igor-alex@yandex.ru

**Скрыпник Артем Николаевич** – аспирант теплотехники и энергетического машиностроения, научный сотрудник лаборатории моделирования физико-технических процессов. Казанский

национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева – КАИ (420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10а, к. 102, Российская Федерация). E-mail: [anskrypnik@kai.ru](mailto:anskrypnik@kai.ru)

**Маршалова Галина Сергеевна** – ассистент кафедры энергосбережения, гидравлики и тепло-техники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова 13а, Республика Беларусь). E-mail: [galiana.sidorik@gmail.com](mailto:galiana.sidorik@gmail.com)

#### Information about the authors

**Mironov Aleksandr Aleksandrovich** – PhD student, the Power and Energy Engineering Department. Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI (10a, K. Marks str., Kazan, 420111, Russian Federation). E-mail: [alexander1993@mail.ru](mailto:alexander1993@mail.ru)

**Popov Igor Aleksandrovich** – DSc (Engineering), Professor, Power and Energy Engineering Department. Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI (10a, K. Marks str., Kazan, 420111, Russian Federation). E-mail: [popov-igor-alex@yandex.ru](mailto:popov-igor-alex@yandex.ru)

**Skrypnik Artem Nikolayevich** – PhD student, the Power and Energy Engineering Department. Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Russian Federation (10a, K. Marks str., Kazan, 420111, Russian Federation). E-mail: [anskrypnik@kai.ru](mailto:anskrypnik@kai.ru)

**Marschalova Galina Sergeyevna** – assistant lecturer, the Department of the Energy Saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (Minsk, 13a, Sverdlova str., 220006, Republic of Belarus). E-mail: [galiana.sidorik@gmail.com](mailto:galiana.sidorik@gmail.com)

*Поступила 15.10.2019*

# СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ .....</b>	<b>5</b>
Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В. Оцека возможностей использования спектрального вегетационного индекса EVI для дешифрирования лесных насаждений по материалам космической съемки .....	5
Дегтярева Е. В., Болботунов А. А. Дендрохронологический мониторинг хвойных пород на территории санитарно-защитной зоны города Новополоцка .....	12
Комар С. А. Прасторава-часавыя змены саснякоў верасовых на тэрыторыі Бярэзінскага біясфернага запаведніка .....	18
<b>ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО .....</b>	<b>23</b>
Бахед Х. А. Защитные функции лесов: содержание и структурная характеристика .....	23
Лабоха К. В., Луферов А. О., Карась А. Н. Современное состояние сосновых лесов Беларуси Луферов А. О. Ход естественного возобновления соснового подростка под пологом насаждений с проведенными рубками промежуточного пользования и постепенными рубками главного пользования .....	28
Сарнацкий В. В., Шустова С. Ю. О задачах выращивания дубрав Беларуси в связи с интенсификацией лесопользования .....	39
Яковлева-Носарь С. О., Бессонова В. П. Дендрофлора байрачного леса балки Генералка (зона рекреации г. Запорожье) .....	48
Яковлева-Носарь С. О., Бессонова В. П. Дендрофлора байрачного леса балки Генералка (зона рекреации г. Запорожье) .....	55
<b>ЛЕСОВОСТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОВОЗВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>63</b>
Крук Н. К., Якимов Н. И., Тупик П. В., Юрениа А. В. Морфометрические показатели деревьев и шишек и качество семян на лесосеменной плантации сосны веймутовой .....	63
Потапенко А. М., Лазарева М. С., Старожишина К. М. Восстановление широколиственных лесов, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, лесокультурным методом .....	69
Торчик В. И. Технологические особенности размножения декоративных форм рода <i>Salix</i> L. прививкой .....	75
Усена В. В., Старожишина К. М. Рост и продуктивность лесных культур лиственницы в лесорастительных условиях Жорновской лесной дачи .....	79
Штукин С. С. Волович П. И. Организационно-технологические этапы, преимущества и недостатки плантационного производства древесины .....	84
<b>ТУРИЗМ И ЛЕСООХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО .....</b>	<b>91</b>
Гордей Д. В. Обрезка голубики высокорослой ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.): цели и организационно-технические особенности проведения .....	91
Подошвелев Д. А., Вонселев М. Ю. Формирование комплекса крупных фитофагов в лесных биогеоценозах .....	100
Шумский Ю. И., Моложавский А. А., Бахур О. В. Динамика изъятия волка в охотничьих хозяйствах РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов» .....	106
<b>ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ</b>	<b>112</b>
Германович А. О. Определение виброускорений мобильной рубильной машины «АМКО-ДОР 2904» .....	112
Лой В. Н., Германович А. О. Методика обоснования колесной формулы базового шасси мобильной рубильной машины .....	118

<b>Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И.</b> Основные принципы развития сети лесных автомобильных дорог .....	125
<b>Голякевич С. А., Гороновский А. Р.</b> Энергетический анализ режимов работы рубильной машины на операции измельчения древесного сырья .....	131
<b>Голякевич С. А.</b> Имитационное компьютерное моделирование системы «No stress» рубильной машины .....	136
<b>Ким Ю. А., Насковец М. Т., Жарков Н. И., Гиль В. И.</b> Взаимодействие колесного движителя ходовых систем с грунтовым основанием .....	143
<b>Насковец М. Т., Мохов С. П., Голякевич С. А., Жарков Н. И., Кононович Д. А.</b> Экспериментальные исследования комбинированных противогололедных составов для зимнего содержания лесных автомобильных дорог .....	150
<b>ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....</b>	<b>158</b>
<b>Шетько С. В., Игнатович Л. В., Прохорчик, А. С., Чуйков А. С.</b> Исследование особенностей структурных изменений уплотненной древесины ольхи для изготовления столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели .....	158
<b>Бовтрель А. Ю., Божелко И. К.</b> Оценка эффективности транспортной защиты пилопродукции .....	164
<b>Леонович О. К.</b> Энергоэффективное экологически безопасное утепление ограждающих стеновых конструкций .....	169
<b>Полховский А. В., Прохорчик С. А.</b> Основные требования, предъявляемые к спортивно-беговым лыжам. Методики испытаний лыж .....	174
<b>Барташевич А. А., Шетько С. В., Гайдук С. С.</b> Становление и развитие производства мебели в Беларуси .....	179
<b>Ручкина Е. В., Шетько С. В.</b> Критерии оценки эксплуатационных показателей трехслойных панелей с бумажным сотовым наполнителем .....	186
<b>Аникеева М. В.</b> Способ оценки триботехнических характеристик подшипников скольжения из модифицированной прессованной древесины .....	193
<b>ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА .....</b>	<b>202</b>
<b>Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б., Пиир А. Э., Мулин В. П.</b> Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление шахматных пучков из термоаэрозащитных труб применением спиральных подогнутых разновысотных алюминиевых ребер .....	202
<b>Пиир А. Э., Сухоцкий А. Б., Кунтыш В. Б.</b> Способы реализации эталонного термодинамического цикла Эдвардса .....	211
<b>Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Байдук А. В.</b> Натурные обследования водоемов технического назначения .....	217
<b>Пищов М. Н., Бельский С. Е., Царук Ф. Ф.</b> Влияние процессов борирования и боросилицирования на характеристики поверхностного упрочненного слоя деталей трансмиссий лесных мобильных машин .....	223
<b>Гришкевич А. А., Аникеев А. Ф., Бараненко П. А.</b> Проект системы дистанционного управления инструментом с изменяемыми угловыми параметрами .....	229
<b>Миронов А. А., Попов И. А., Скрыпник А. Н., Маршалова Г. С.</b> Повышение эффективности котлов для сжигания древесных отходов .....	237



# CONTENTS

---

<b>FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY .....</b>	<b>5</b>
<b>Pushkin A. A., Sidelnik N. Ya., Kovalevskiy S. V.</b> Estimation of possibilities of using the EVI spectral vegetation index for deciphering forest stands by satellite imagery .....	5
<b>Degtyareva E. V., Bolbotunov A. A.</b> Dendrochronological monitoring of coniferous in the territory of the sanitary protection zone of the Novopolotsk city .....	12
<b>Komar S. A.</b> Space-time changes of heather pine stands on the territory of the Berezinsky biosphere reserve.....	18
<b>FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE .....</b>	<b>23</b>
<b>Bahed H. A.</b> Protective functions of forests: maintenance, structural characteristics .....	23
<b>Labokha K. V., Lufarov A. O., Karas' A. N.</b> Current state of the pine forests of Belarus .....	28
<b>Lufarov A. O.</b> Process of natural regeneration of <i>Pinus sylvestris</i> undergrowth under the canopy of forest stands with passed intermediate and shelterwood cuttings.....	39
<b>Sarnatskiy V. V., Shustova S. Yu.</b> On the tasks of cultivation of oak forests of Belarus in connection with the forest management intensification.....	48
<b>Yakovlieva-Nosar S. O., Bessonova V. P.</b> Arborescens plants of the beam Generalka (recreation zone of Zaporizhzhia).....	55
<b>FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING.....</b>	<b>63</b>
<b>Kruk N. K., Yakimov N. I., Tupik P. V., Yurenaya A. V.</b> Morphometric indicators of trees and cones and quality of seeds on the white pine forest seed plantation .....	63
<b>Potapenko A. M., Lazareva M. S., Storozhishina K. M.</b> On the restoration of broad-leaved forests created in the order of reconstruction of softwoods forest plants by the forest-cultural method.....	69
<b>Torchyk U. I.</b> Technological features of <i>Salix</i> L. decorative forms propagation by grafting.....	75
<b>Usenya V. V., Storozhishina K. M.</b> Growth and productivity of larch forest crops in forest-growing conditions of the Zhornovsky forest landlord's house.....	79
<b>Shtukin S. S., Volovich P. I.</b> Organizational and technological stages, advantages and disadvantages of plantation production of wood.....	84
<b>FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE .....</b>	<b>91</b>
<b>Hardzei D. V.</b> Cutting of the highbush blueberry ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.): aims, organizational and technical features of carrying out.....	91
<b>Podoshvelev D. A., Vonselev M. Yu.</b> Formation of large phytophage's complex in forest biogeocenoses .....	100
<b>Shumski Y. I., Malazhavski A. A., Bakhur A. V.</b> Dynamics of wolf elimination in hunting managements RSPA «Belarusian society of hunters and fishermen».....	106
<b>TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS .....</b>	<b>112</b>
<b>Hermanovich A. O.</b> Determination of vibration acceleration of mobile chipper machines AMKODOR 2904.....	112
<b>Loy V. N., Hermanovich A. O.</b> Methodology for justification of the wheel formula of the base chassis of a mobile chipper .....	118
<b>Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I.</b> Basic principles of forest road network development .....	125

<b>Golyakevich S. A. , Goronovskiy A. R.</b> Energy analysis of operations modes of chippers on operation milling of wood materials .....	131
<b>Golyakevich S. A.</b> Computer simulation modeling of the system «No stress» chipper .....	136
<b>Kim Yu. A., Naskovets M. T., Zharkov N. I., Gil' V. I.</b> Interaction of the wheel driving system with ground basis .....	143
<b>Naskovets M. T. , Mokhov S. P. , Golyakevich S. A., Zharkov N. I., Kononovich D. A.</b> Experimental research of combined anti-ice composition for winter content forest roads .....	150
<b>WOODWORKING INDUSTRY .....</b>	<b>158</b>
<b>Shet'ko S. V., Ignatovich L. V., Prokhorchik S. A., Chuikov A. S.</b> Research of features of structural changes compacted alder wood for the production of joint-and-construction products and construction elements of furniture .....	158
<b>Bovtrel' A. Yu., Bozhelko I. K.</b> Evaluation of the efficiency of transport protection of sawn products.....	164
<b>Leonovich O. K.</b> Energy efficient environmentally safe warming of enclosure wall constructions.....	169
<b>Polkhovskiy A. V., Prokhorchik S. A.</b> Basic requirements for sports racing. Ski test methods...	174
<b>Bartashevich A. A., Shet'ko S. V. Haiduk S. S.</b> Formation and development of furniture manufacture in Belarus .....	179
<b>Ruchkina Ye. V., Shet'ko S. V.</b> Criteria for evaluating operating indicators of three-layer panels with paper honeycomb core .....	186
<b>Anikeyeva M. V.</b> Method for assessing tribotechnical characteristics plain bearings from modified pressed wood .....	193
<b>ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX .....</b>	<b>202</b>
<b>Kuntysh V. B., Sukhotski A. B., Piir A. E., Mulin V. P.</b> Convective heat exchange and aerodynamic resistance of chess bunches from thermoaeroprotective tubes application of the spiral turned in different high-rise aluminium ribs .....	202
<b>Piir A. E., Sukhotski A. B., Kuntysh V. B.</b> Ways of implementation of the reference edwards's thermodynamic cycle .....	211
<b>Kasperov G. I., Levkevich V. Ye., Baiduk A. V.</b> Field surveys of industrial water bodies technical state .....	217
<b>Pishchov M. N., Belski S. Ye., Tsaruk F. F.</b> Influence of boring and borosilication processes on the characteristics of a surface strengthened layer of transmissions of forest mobile machines .....	223
<b>Grishkevich A. A., Anikeyenko A. F., Baranenko P. A.</b> Project of remote tool control system with variable angular parameters .....	229
<b>Mironov A. A., Popov I. A., Skrypnik A. N., Marshchalova G. S.</b> Improvement of power efficiency of wood-burning stoves.....	237

Редакторы *Е. И. Гоман, Р. М. Рябая*  
Компьютерная верстка *А. А. Селиванова, Е. В. Ильченко, О. А. Солодкевич*  
Корректоры *Е. И. Гоман, Р. М. Рябая*

Подписано в печать 13.01.2020. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 29,2. Уч.-изд. л. 31,2.  
Тираж 100 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.